(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2019 年 12 月 5 日 (05.12.2019)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2019/227906 A1

(51) 国际专利分类号:
E01C 3/06 (2006.01) *E02D 3/11* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/121824

(22) 国际申请日: 2018 年 12 月 18 日 (18.12.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201810539833.3 2018年5月30日 (30.05.2018) CN

(71) 申请人: 山东交通学院 (SHANDONG JIAOTONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国山东省济南市长清大学科技园海棠路5001号, Shandong 250023 (CN)。 山东大学 (SHANDONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。

(72) 发明人: 崔新壮 (CUI, Xinzhuang); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 李晋 (LI, Jin); 中国山东省济南市长清大学科技园海棠路5001号, Shandong 250023 (CN)。 金青 (JIN, Qing); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 张炯 (ZHANG, Jiong); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 苏俊伟 (SU, Junwei); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 王洁茹 (WANG, Jieru); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 王艺霖 (WANG, Yilin); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 李骏 (LI, Jun); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 韩若楠 (HAN, Ruonan); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。

(54) **Title:** ELECTRO-OSMOSIS TREATMENT METHOD FOR REDUCING MOISTURE CONTENT OF ROADBED, AND ROAD STRUCTURE

(54) **发明名称:** 一种降低路基含水率的电渗处理法及道路结构

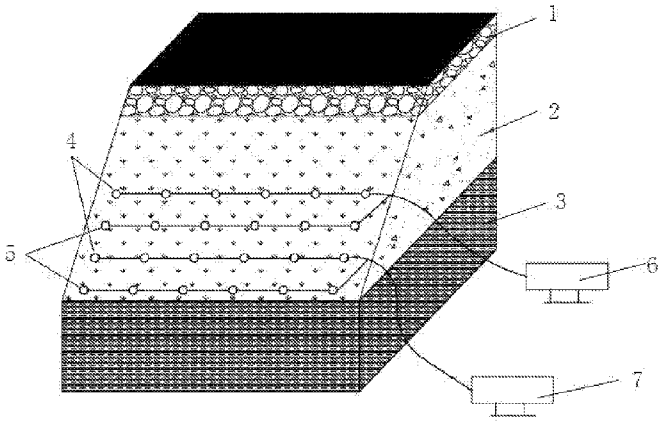

图 2

(57) **Abstract:** An electro-osmosis treatment method for reducing the moisture content of a roadbed (2), and a road structure, said method comprising: inserting electrodes into the over-wet soil roadbed (2) and supplying a direct current. Under the action of the direct current, moisture in the filler of the roadbed (2) is forced to gather in the vicinity of a cathode electrode (5) and is discharged, so as to reduce the moisture content of the roadbed (2). Said construction method avoids the excavation of the roadbed (2), and while ensuring the normal passage of the road, the construction process is simplified, the construction cost is reduced, thereby having a broad application prospect.

(57) **摘要:** 一种降低路基(2)含水率的电渗处理方法及道路结构，即在过湿土路基(2)中插入电极并接通直流电，在直流电的作用下，路基(2)填料中的水分强制汇集在阴极电极(5)附近并排出，使路基(2)含水率降低。该施工方法避免了路基(2)开挖，在保证道路正常通行的基础上，简化了施工流程，降低了施工造价，因此具有广阔的应用前景。

WO 2019/227906 A1

[见续页]

(74) 代理人：济南圣达知识产权代理有限公司(JINAN SHENGDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD)；中国山东省济南市经十路17703号华特广场B308室, Shandong 250061 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明：

— 关于申请人有权要求在先申请的优先权(细则4.17(iii))

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种降低路基含水率的电渗处理法及道路结构

技术领域

本发明属于土木工程领域，具体公开了一种非开挖、不封闭交通的降低路基含水率的电渗处理方法及道路结构。

背景技术

在大规模道路建设中，道路长期服役性能的保持是非常重要的。在道路运营期间，如果大气降水不能及时通过排水系统排走，会经由路面或边坡渗入路基，使路基含水率提高，降低路基稳定性；另一方面，地下水位的上升会显著增加路基工作区的含水率，毛细作用能将地下水位以上路基饱和区的水输送到路基工作区中，引起路基工作区含水率的增大，导致翻浆、冻融等病害，降低道路结构强度，缩短道路使用寿命。因此，采取有效措施治理道路结构水损害，可以提高路基路面稳定性，从而保证道路的正常使用。降低路基含水率的措施一般包括开挖排水沟、翻耕、晾晒路基回填土、在路基土中掺加生石灰降低含水率以及铺设垫层及土工合成材料隔离地下水等；但上述处理措施需对原有路基进行开挖，封闭施工段交通，为道路的正常使用带来极大不便，同时该方案工程量巨大，工程造价昂贵。

发明内容

为了解决现有技术中存在的技术问题，本发明提出了一种非开挖、不封闭交通的降低路基含水率的电渗处理方法及道路结构，通过在过湿土路基中插入电极并接通直流电，在直流电的作用下使路基填料中的水分汇集在阴极电极附近并排出，从而降低路基含水率，避免了施工开挖。

本发明采用的技术方案如下：

本发明提出了一种非开挖、不封闭交通的降低路基含水率的电渗处理方法，在路基中设置有阳极电极和阴极电极，所述的阳极电极和阴极电极连接直流电源，在直流电的作用下使路基填料中的水分汇集在阴极电极附近并排出，从而降低路基含水率。

进一步优选的，上述处理方法中，所述的阴极电极附近设置有排水通道。

进一步优选的，上述处理方法中，所述的阳极电极和阴极电极采用惰性材料制作。

进一步优选的，上述处理方法中，所述的阳极电极和阴极电极采用金属材料制作。

进一步优选的，上述处理方法中，在所述的阴极电极采用中空的管状结构，在该

管状结构上设有透水孔。

进一步优选的，上述处理方法中，所述的阳极电极采用实心的管状结构。

本发明提出的非开挖、不封闭交通的降低路基含水率的电渗处理方法的具体的施工方法如下：

步骤 1 确定电极的电压值；

步骤 2 选择合适的电极材料，确定电极的尺寸；

步骤 3 根据实际路面尺寸以及结构，确定电极布设的方式；

步骤 4 估算土体电阻；

步骤 5 估算输出功率，选取合适的直流电源；

步骤 6 连接电源和布设的电极，进行排水；

步骤 7 若电极采用惰性材料制作，则取出电极，然后对电极孔进行灌注；若电极采用的金属材料制作，则直接保留电极，在电极内直接灌注或者取出电极，对电极孔进行灌注。

本发明还提出了一种道路结构，其包括路面和路基；在所述路基中埋设阳极电极和阴极电极，所述的阳极电极和阴极电极连接直流电源。

进一步优选的，上述道路结构中，所述的阴极电极附近设置有排水通道。

进一步优选的，上述道路结构中，所述的阳极电极和阴极电极采用惰性材料制作。

进一步优选的，上述道路结构中，所述的阳极电极和阴极电极采用金属材料制作。

进一步优选的，上述道路结构中，在所述的阴极电极采用中空的管状结构，在该管状结构上设有透水孔。

进一步优选的，上述道路结构中，所述的阳极电极采用实心的管状结构。

本发明的有益效果如下：

本发明提出了一种非开挖、不封闭交通的降低路基含水率的电渗处理方法，即在过湿土路基中插入电极并接通直流电，在直流电的作用下，路基填料中的水分强制汇集在阴极电极附近并排出，使路基含水率降低。该施工方法避免了路基开挖，在保证道路正常通行的基础上，简化了施工流程，降低了施工造价，因此具有广阔的应用前景。

附图说明

构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本申请的进一步理解，本申请的示

意性实施例及其说明用于解释本申请，并不构成对本申请的不当限定。

图 1（a）阴极管的截面图；

图 1（b）阴极管的正视图；

图 2 电极布置方式示意图；

图 3 电渗区电路示意图；

图中：1 路面，2 路基，3 地基，4 阴极电极，5 阴极电极，6 直流电源，7 直流电源。

具体实施方式

应该指出，以下详细说明都是例示性的，旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明，本文使用的所有技术和科学术语具有与本申请所属技术领域的普通技术人员通常理解的相同含义。

需要注意的是，这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式，而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的，除非上下文另外明确指出，否则单数形式也意图包括复数形式，此外，还应当理解的是，当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时，其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合；

正如背景技术所介绍的，现有技术中降低路基含水率的措施一般包括开挖排水沟、翻耕、晾晒路基回填土、在路基土中掺加生石灰降低含水率以及铺设垫层及土工合成材料隔离地下水等；但上述处理措施需对原有路基进行开挖，封闭施工段交通，为道路的正常使用带来极大不便，同时该方案工程量巨大，工程造价昂贵，为了解决如上的技术问题，本申请提出了一种非开挖、不封闭交通的降低路基含水率的电渗处理方法及道路结构，通过在过湿土路基中插入电极并接通直流电，在直流电的作用下使路基填料中的水分汇集在阴极电极附近并排出，从而降低路基含水率，避免了施工开挖。

具体的，一种非开挖、不封闭交通的降低路基含水率的电渗处理方法，在路基中设置有阳极电极和阴极电极，所述的阳极电极和阴极电极连接直流电源，在直流电的作用下使路基填料中的水分汇集在阴极电极附近并排出，从而降低路基含水率；具体的工作原理如下：

通常情况下，土颗粒会吸附阴离子使其表面表面带负电荷。颗粒四周形成一个电场，极性水分子、水化阳离子受到静电吸引被吸附在土粒表面，同时由于受布朗运动

热运动的扩散作用，实际阳离子的分布是不均匀的。最靠近土粒表面的地方，极性水分子、水化阳离子排列得紧密，形成吸附层；离土粒表面距离稍远的地方，静电吸引力降低，极性水分子、水化阳离子排列得不是那么紧密，形成扩散层。吸附层和扩散层中被吸附的离子，其正负号与土粒表面的负电荷相反，又称为反离子层。双电层即指土粒表面的负电荷构成电场内层，反离子层构成电场外层。若在土体两端施加一定的电位差，则双电层必将破裂，其正电荷移向阴极，而负电荷移向阳极，由于双电层的第一层与土体牢固的连接着，这层的移动很困难，因此只是第二层带动液体一起移动，这样就形成了电渗；通过电渗可以排出土中的弱结合水和自由水。

进一步优选的，上述处理方法中，所述的阴极电极附近设置有排水通道；在阴极，水分子数量聚集到一定程度时，水从水化离子中释放出来，使阴极附近水分增加，从阴极处设置的排水通道排出。

进一步优选的，上述处理方法中，所述的阳极电极和阴极电极采用惰性材料制作；采用惰性电极（包括非金属电极如石墨电极、惰性金属电极如银电极等）进行电渗法处理时，将接通直流电的电极棒插入土壤，土壤内的水在直流电的作用下发生电化学变化，使阳极和阴极之间能形成电场，通常情况下，土颗粒能够吸附阴离子使其表面带负电，土壤内的极性水分子易与阳离子结合形成水化阳离子。当插入电极后在电场力的作用下，水化阳离子会在电场力的作用下朝阴极定向移动，同时，水分子通过摩擦力的作用再带动周围自由水和部分弱结合水向阴极移动（宏观表现为水的粘滞性），形成电渗现象。在阴极，水分子数量聚集到一定程度时，水从水化离子中释放出来，使阴极附近水分增加，从阴极处设置的排水通道排出。自由水和部分弱结合水被排出后，土粒的结构和性质都会发生变化。自由水和部分弱结合水被排出，孔隙减小，土颗粒之间的咬合紧密。因此，土体承载力得到提高，土体的摩擦角和粘聚力都增加，使得土体抗剪强度增加。当路基土含水率降至规定数值后可将电极取出并在电极孔中灌注预先配置的封孔材料进行封孔。

进一步优选的，上述处理方法中，所述的阳极电极和阴极电极采用金属材料制作，优选的，可采用铁制材料、铜质材料、铝制材料等制作，由于铁质材料成本较低，优先使用；

采用铁质管进行电渗法处理时，将接通直流电的电极棒插入土壤，土壤内的水在直流电的作用下发生化学变化。在阳极发生氧化反应，在直流电的作用下产生Fe^{2+}和

电子，Fe^{2+}在水溶液中产生$Fe(OH)_2 \cdot nH_2O$，带正电荷$Fe(OH)_2 \cdot nH_2O$向阴极移动，当$Fe(OH)_2 \cdot nH_2O$移至阴极，水分子从土体中脱去并大量聚集，此时在阴极处设置排水通道，水将从阴极排出。水分的排出降低了土壤含水率，提高土体承载力。同时土体中的$Fe(OH)_2$氧化为$Fe(OH)_3$并与土粒产生胶结作用，能进一步提高土壤强度，而氧化作用产生的电子，经由正极通过直流电至负极，并与负极电极处的金属离子或水电解产生的氢离子发生还原反应生成相应的金属或者氢气。当路基土含水率降至规定数值后，直接在电极管中填充封孔材料，封孔材料凝结硬化后能与金属电极形成锚固体系，对路基边坡进行锚固。

进一步优选的，上述处理方法中，在所述的阴极电极采用中空的管状结构，在该管状结构上设有透水孔；如图 1（a）和图 1（b）所示；在阴极管表面每隔一定距离开透水孔，透水孔在材料横断面上对称分布，且开孔轴线互为垂直；优选的，相邻两排透水孔纵向间距为 10cm，透水孔的孔径Φ_3为 6～8mm，保证汇集到阴极管处的水分顺利排出内并排出。电极长度与路基土宽度一致。

进一步优选的，上述处理方法中，所述的阳极电极采用实心的管状结构；

上述方法具体的设计方法如下：

（1）电压确定

电渗时电压常用范围为 U=24V～160V。但考虑到施工过程不影响道路的正常运营，同时考虑到施工速度，以接近或不超过 72V 安全电压为宜，且电压过高时，将使土体产生大量热量，耗能大增，并不经济。

（2）电极材料的选取及尺寸确定

电极材料一般可分为两类，一类为利用惰性材料（如石墨）制成的电极管或电极棒，由于惰性电极不会在外加电源作用下发生电化学变化，因而采用此种电极进行电渗法施工时，可在通电结束后取出并循环利用；另一类电极材料为钢筋或者钢管，采用铁质电极会导致在电渗实验过程中参与电化学反应产生$Fe(OH)_2$和$Fe(OH)_3$胶体，胶体能与土粒产生胶结作用，能进一步增大土体强度。阳极棒可选择直径为 16～

24mm 的钢筋或石墨棒，阴极材料可选择外径Φ_1为 21～27mm 的钢管或石墨管，相应内径Φ_2为 18～24mm，同时在阴极管表面每隔一定距离开透水孔，透水孔在材料横断面上对称分布，且开孔轴线互为垂直，相邻两排透水孔纵向间距为 10cm，透水孔的孔径Φ_3为 6～8mm，保证汇集到阴极管处的水分顺利排出内并排出。阴极管如图 1 所示。电极长度与路基土宽度一致。

（3）电极布设

电极布置方式如图 2 所示，由于直流电源可提供的功率有限，对长度较长的施工段所需电渗功率较大，因而在整个施工段内需采用多个直流电源进行供电；直流电源的数量需结合路基含水率、单位长度路段内所需布设电极数量、施工段长度进行确定。

对一般工程，沿路线方向每隔 40～60m 定义为一个作业区。每个作业区内，电极孔位置的确定应根据相邻电极之间电压强度以及土壤含水率高低来确定。阴、阳极各自布置在不同高度，且阳极管和阴极管沿着高度方向穿插布置。每一层阳极管及其相邻的下层阴极管为一电渗层位，每个作业区的同一电渗层由一个直流电源供电。

优选的，结合相邻电极之间的电压强度、土壤含水率以及路基高度可选择相邻两个电极之间的垂直间距为 0.6～1m，同一高度处的阴极管与阴极管之间、阳极棒与阳极棒之间距离约为 1～1.2m。根据路基高度不同，为保证汇集到阴极处的水分能尽快排出，需将阴极管设置坡度为 2%～4%的下坡。

（4）土体电阻估算

土体电阻的估算应以作业区为单位进行分析；在每一作业区内，阴阳电极间土体的总电阻表现为视在电阻$R_{视在}$，若考虑电极与周围土体之间的界面电阻，则每一对电极间电阻$R_{视在}$，由电极电阻电极$R_{电极}$、电极与土体界面电阻$R_{界面}$、以及土体电阻$R_{土}$三部分构成：

$$R_{视在}=R_{电极}+R_{界面}+R_{土} \quad (1)$$

式中：$R_{电极}$—电极材料本身电阻（Ω），对金属电极$R_{电极}\approx 0$；

$R_{界面}$—电极与土体之间的界面电阻（Ω）；

$R_{土}$—土体电阻（Ω）。R=$\rho l/A$，ρ为土体电阻率，l为阴阳电极距离，A为土体面积。

其中，土体电阻率ρ用 *Miller* 电阻（20cm×20cm×18cm）箱测试。

界面电阻$R_{界面}$计算方法为：

$$R_{界面}=\frac{k_1}{S_2}\left(\frac{1}{sat}-1\right) \tag{2}$$

由于路基排水是由很多对电极构成，这些电极和它们之间土体可以划分为条带，并可以视为与电源是并联关系，电渗区电路就简化为图 3 所示模型：

电渗场地总电阻$\Sigma R_{视在}$计算方法如公式（3）所示：

$$\frac{n}{R_{视在}}=\frac{1}{\Sigma R_{视在}} \tag{3}$$

其中：n—电极对数。

（5）输出功率估算及直流电源选取

估算电流有助于确定供电设备功率。一般来说，由于电渗过程中土体含水率的变化会导致电阻发生变化，进而使电流在电渗过程中从高到低变化，初始电流按公式（4）估算：

$$I=\frac{U}{R_{视在}} \tag{4}$$

并通过初始电流和电源输出电压估算电源功率，如式（5）所示：

$$P=UI \tag{5}$$

在直流电源选取过程中，除要保证电源电压满足施工要求并保证输出电压的相对稳定外，还应考虑整个项目的施工成本。根据工程性质的不同，所选用的供电方式也存在差异。一般来说，当施工场地提供交流电时，可选择交流变压器及整流器将交流电源转换为直流电源进行供电。采用整流器进行交流电转直流电的优点是操作方便，电压较稳定且无需单独发电，但交流变压器必须是隔离变压器类型，否则通电时会引起与大地短路，且设备成本较高。采用直流发电机对工程进行供电可满足施工过程中较高功率的需求，但采用直流发电机进行长时间供电会使耗油量增大，同时采用发电机进行供电会出现输出电压不稳定，电压随电流增大而降低等现象；具体供电设备的选择应根据设备价格、施工费用以及工程需求等因素来确定。

（6）通电及观测

电极安装结束之后，及时将电渗区电极与直流电源输出端连接，电渗区电极与输入导线的连接触点用铁丝绑扎牢固。通电前检查电路连接，当选取的电压过高时需将人员撤离，确认无误后后方可合上开关。电渗法排水步骤为先对整个路基的最上层电

渗层位进行通电排水，排水过程中应时刻关注路基含水率情况、电压、电流变化情况，待该层土体含水率降至不超过最佳含水量1%-3%时结束通电；再对其下一层电渗层位进行通电，当含水率降到相同数值时继续对下层路基进行排水直至整个路基含水率都降至所需含水率，停止通电，进行含水率抽查并调整含水率。当路基整体含水率都达到不超过最佳含水量1%-3%时方可进行后续施工操作。

（7）封孔灌注材料

灌注材料的选取一般应符合以下要求：

1）与旧路基具有良好的相容性；

2）具备良好的可注性，满足灌注要求；

3）早期具有一定强度，并且其凝结硬化时间可控；固结后应有一定强度、抗渗、稳定、耐久和收缩小；

4）材料来源广，价格适宜；

5）浆液无毒无污染。

其中，封孔灌注材料可采用改性水玻璃浆、普通水泥单液浆、水泥—水玻璃双液浆、超细水泥四种注浆材料。一般来说，考虑到工程造价及材料的工作性能，可选取普通水泥单浆液进行封孔；但当工程项目对水泥早期强度要求较高，对硬化时间有严格控制时，可将水玻璃掺入水泥浆中，实现胶凝时间的控制，保证封孔材料的早期强度。

普通水泥单液浆应选用32.5R及以上的普通硅酸盐水泥，水灰比一般设为0.6:1～0.8:1；水玻璃浓度应为35°Bé及以上，外加剂应根据路基填料类型和灌注工艺进行选择。

为保证封孔质量，浆液必须配比准确，符合设计要求。注浆施工期应进行监测，监测项目通常有材料溢出、地下水污染等，特别是要采取必要措施防止封孔材料溢出。

（8）封孔

电渗结束后进行封孔，若采用石墨电极进行电渗排水处理，当土样含水量检测平均值符合压实标准，即不超过最佳含水量3%时结束通电。将石墨电极取出并在电极孔中灌注混凝土进行封孔，取出的石墨电极可回收利用；若采用钢筋和钢管作为电极进行电渗排水处理，当土样含水量检测平均值符合压实标准，即不超过最佳含水量3%时结束通电，直接在电极管中填充封孔材料，封孔材料凝结硬化后能与金属电极形

成锚固体系，对路基边坡进行锚固。

本发明还提出了一种道路结构，具体的如图 2 所示，其包括路面 1、路基 2 和地基 3；在所述路基 2 中埋设阳极电极 4 和阴极电极 5，所述的阳极电极 4 和阴极电极 5 连接直流电源 6 和直流电源 7。

进一步优选的，上述道路结构中，所述的阴极电极 5 附近设置有排水通道。

进一步优选的，上述道路结构中，所述的阳极电极 4 和阴极电极 5 采用惰性材料制作。

进一步优选的，上述道路结构中，所述的阳极电极 4 和阴极电极 5 采用金属材料制作。

进一步优选的，上述道路结构中，在所述的阴极电极 5 采用中空的管状结构，在该管状结构上设有透水孔。

进一步优选的，上述道路结构中，所述的阳极电极 4 采用实心的管状结构。

具体的实施案例：

电渗法降低高速公路过湿路基土中的含水率

某高速公路部分路段在运营过程中由于地下水位的上升及路基土毛细作用使地下水上升到路基工作区，路基强度降低，出现水损害现象。可采用电渗法对高速公路进行路基处理。

现场试验采用的是自制可调稳压直流电源，由于该路段交通量较大，可调节电压为 65V 进行电渗法处理，其中每隔 40m 分作一个作业区，一个作业区由同一个直流电源进行供电，为保证施工速率，根据估算，直流电源功率不小于 3500W。选取电极材料时，阳极材料选用直径为 20mm 的石墨棒，阴极材料选用外径为 26mm，内径为 12mm 的石墨管。阴、阳极各自布置在不同高度层面上交错布置，阳极层面与阴极层面平行，垂直间距为 0.8m，阴极与阴极之间、阳极与阳极之间距离为 1m，共铺设了 4 层电极。根据估算，接通电源后每 2h 对输出电压、电流进行监测，24h 后电压、电流稳定下来，之后每 12h 测定路基填料含水率，至含水率在最佳含水率 2%范围内，断电。选择普通水泥 -水玻璃双液浆作为封孔材料，水泥等级为 32.5R，水灰比 0.7:1，水玻璃浓度为 35° Bé。将电极从电极孔中抽出并浇筑封孔材料进行封孔。通过对比可以看出，使用电渗法能在不影响公路正常运营的基础上降低路基填料的含水率，极大地简化了施工流程。

权利要求书

1. 一种降低路基含水率的电渗处理方法，其特征在于，在路基中设置有阳极电极和阴极电极，所述的阳极电极和阴极电极连接直流电源，在直流电的作用下使路基填料中的水分汇集在阴极电极附近并排出，降低路基含水率。

2. 如权利要求 1 所述的降低路基含水率的电渗处理方法，其特征在于，所述的阴极电极附近设置有排水通道。

3. 如权利要求 1 所述的降低路基含水率的电渗处理方法，其特征在于，所述的阳极电极和阴极电极采用惰性材料制作或者金属材料制作。

4. 如权利要求 1 所述的降低路基含水率的电渗处理方法，其特征在于，在所述的阴极电极采用中空的管状结构，在该管状结构上设有透水孔。

5. 如权利要求 1 所述的降低路基含水率的电渗处理方法，其特征在于，所述的阳极电极采用实心的管状结构。

6. 一种降低路基含水率的电渗处理方法，其特征在于，具体如下：

步骤 1 确定电极的电压值；

步骤 2 选择合适的电极材料，确定电极的尺寸；

步骤 3 根据实际路面尺寸以及结构，确定电极布设的方式；

步骤 4 估算土体电阻；

步骤 5 估算输出功率，选取合适的直流电源；

步骤 6 布设电极，连接电源和布设的电极，进行排水；

步骤 7 若电极采用惰性材料制作，则取出电极，然后对电极孔进行灌注；若电极采用的金属材料制作，则直接保留电极，在电极内直接灌注或者取出电极，对电极孔进行灌注。

7. 一种道路结构，其特征在于，包括路面和路基；在所述路基中埋设阳极电极和阴极电极，所述的阳极电极和阴极电极连接直流电源。

8. 如权利要求 7 所述的一种道路结构，其特征在于，所述的阴极电极附近设置有排水通道。

9. 如权利要求 7 所述的道路结构，其特征在于，所述的阳极电极和阴极电极采用惰性材料制作或者金属材料制作。

10. 如权利要求 1 所述的道路结构，其特征在于，在所述的阴极电极采用中空的管状结构，在该管状结构上设有透水孔；所述的阳极电极采用实心的管状结构。

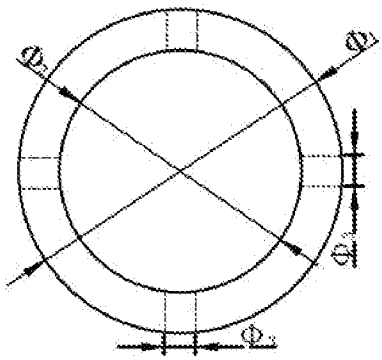

图 1（a）

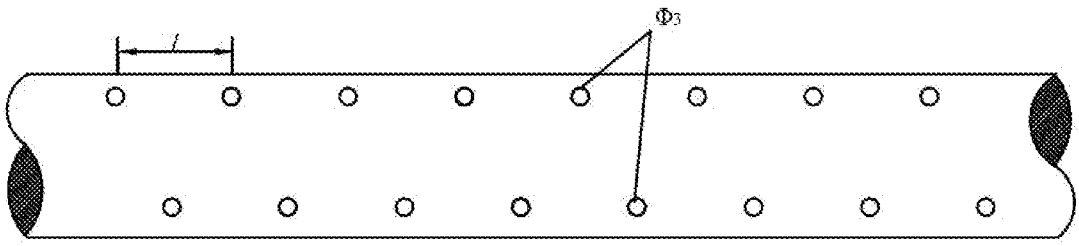

图 1（b）

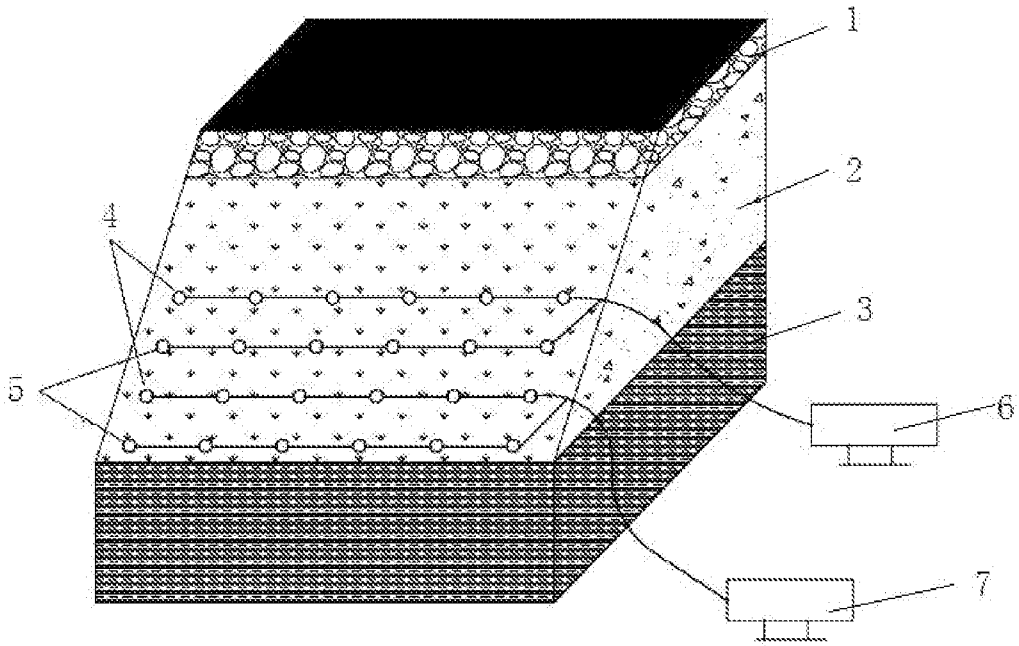

图 2

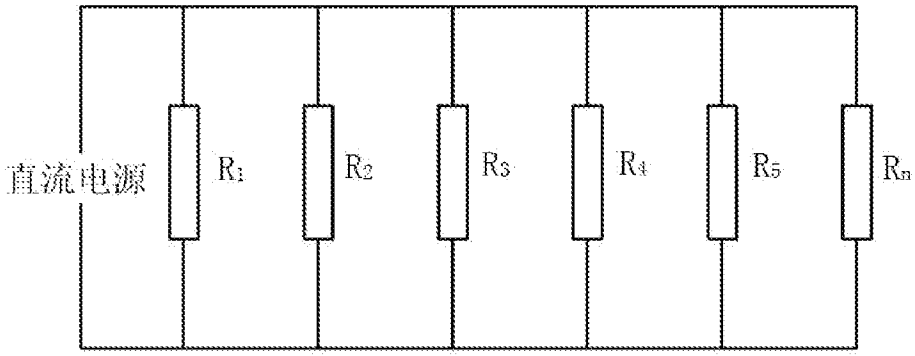

图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/121824

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E01C 3/06(2006.01)i; E02D 3/11(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E01C 3/-, E02D 3/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, VEN, 中国期刊网全文数据库, CJFD, 读秀, DUXIU: 地基, 路基, 电渗, 含水率, 阴极, 阳极, 电极, 直流, 电源, 管, 孔, 灌注, 灌浆, electro osmosis, water content, roadbed, road, cathode, anode, electrode, direct current, tubular, pipe, tube, hole, pour

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 108677640 A (SHANDONG UNIVERSITY) 19 October 2018 (2018-10-19) claims 1-10, and figures 1-3	1-10
X	CN 102409663 A (HOHAI UNIVERSITY) 11 April 2012 (2012-04-11) description, paragraphs 0001-0012, and figures 1 and 2	1-10
X	CN 102162239 A (HOHAI UNIVERSITY) 24 August 2011 (2011-08-24) description, paragraphs 0001-0012, and figures 1 and 2	1-10
X	CN 107905211 A (TTIANJIN CHENGJIAN UNIVERSITY) 13 April 2018 (2018-04-13) description, paragraphs 0005-0021, embodiments 1-3, and figures 1-5	1-10
X	CN 104594333 A (HOHAI UNIVERSITY) 06 May 2015 (2015-05-06) description, paragraphs 0006-0014, and figures 1-3	1-10
X	CN 103174128 A (LANZHOU UNIVERSITY) 26 June 2013 (2013-06-26) description, paragraphs 0004-0022, and figures 1-4	1-10
X	CN 107476285 A (NANTONG UNIVERSITY) 15 December 2017 (2017-12-15) description, paragraphs 0004-0019, and figures 1-4	1-10

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
19 February 2019	**01 March 2019**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
State Intellectual Property Office of the P. R. China (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/121824

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3915826 A (PROVALOR ANSTALT) 28 October 1975 (1975-10-28) claims 1-6, and figures 1-3	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/121824

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	108677640	A	19 October 2018	None			
CN	102409663	A	11 April 2012	CN	102409663	B	25 September 2013
CN	102162239	A	24 August 2011	CN	102162239	B	15 May 2013
CN	107905211	A	13 April 2018	CN	207646724	U	24 July 2018
CN	104594333	A	06 May 2015	CN	104594333	B	10 February 2016
CN	103174128	A	26 June 2013	CN	103174128	B	01 April 2015
CN	107476285	A	15 December 2017	None			
US	3915826	A	28 October 1975	CA	1005791	A	22 February 1977
				CH	587326	A5	29 April 1977
				DE	2337672	A1	16 May 1974
				DE	2337672	B2	11 May 1978
				NL	7315590	A	17 May 1974
				AT	A644673	A	15 September 1975
				DE	2337672	C3	11 January 1979
				FR	2206122	A1	07 June 1974
				BE	807318	A	01 March 1974

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2018/121824

A. 主题的分类

E01C 3/06(2006.01)i; E02D 3/11(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

E01C 3/-, E02D 3/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNABS,CNTXT,VEN,中国期刊网全文数据库,读秀：地基,路基,电渗,含水率,阴极,阳极,电极,直流,电源,管,孔,灌注,灌浆,electro osmosis, water content, roadbed, road, cathode, anode, electrode, direct current, tubular, pipe, tube, hole, pour

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 108677640 A (山东大学) 2018年 10月 19日 (2018-10-19) 权利要求1-10，图1-3	1-10
X	CN 102409663 A (河海大学) 2012年 4月 11日 (2012-04-11) 说明书第0001-0012段，图1-2	1-10
X	CN 102162239 A (河海大学) 2011年 8月 24日 (2011-08-24) 说明书第0001-0010段，图1-2	1-10
X	CN 107905211 A (天津城建大学) 2018年 4月 13日 (2018-04-13) 说明书第0005-0021段，实施例1-3，图1-5	1-10
X	CN 104594333 A (河海大学) 2015年 5月 6日 (2015-05-06) 说明书第0006-0014段，图1-3	1-10
X	CN 103174128 A (兰州大学) 2013年 6月 26日 (2013-06-26) 说明书第0004-0022段，图1-4	1-10
X	CN 107476285 A (南通大学) 2017年 12月 15日 (2017-12-15) 说明书第0004-0019段，图1-4	1-10

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2019年 2月 19日	2019年 3月 1日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 许辉 电话号码 86-(10)-53962701

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2018/121824

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	US 3915826 A (PROVALOR ANSTALT) 1975年 10月 28日 (1975 - 10 - 28) 权利要求1-6，图1-3	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2018/121824

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	108677640	A	2018年 10月 19日	无			
CN	102409663	A	2012年 4月 11日	CN	102409663	B	2013年 9月 25日
CN	102162239	A	2011年 8月 24日	CN	102162239	B	2013年 5月 15日
CN	107905211	A	2018年 4月 13日	CN	207646724	U	2018年 7月 24日
CN	104594333	A	2015年 5月 6日	CN	104594333	B	2016年 2月 10日
CN	103174128	A	2013年 6月 26日	CN	103174128	B	2015年 4月 1日
CN	107476285	A	2017年 12月 15日	无			
US	3915826	A	1975年 10月 28日	CA	1005791	A	1977年 2月 22日
				CH	587326	A5	1977年 4月 29日
				DE	2337672	A1	1974年 5月 16日
				DE	2337672	B2	1978年 5月 11日
				NL	7315590	A	1974年 5月 17日
				AT	A644673	A	1975年 9月 15日
				DE	2337672	C3	1979年 1月 11日
				FR	2206122	A1	1974年 6月 7日
				BE	807318	A	1974年 3月 1日