

小直径钻孔抗滑桩的研究与应用

陈喜昌¹ 石胜伟²

(1.中国地质灾害研究会防治工程专业委员会 成都 610081 2.中国地质科学院探矿工艺研究所 成都 610081)

摘要: 本文按照地质工程的观点, 简要阐述了小直径钻孔抗滑桩的功能优势, 进行研究应遵循的基本观点, 并通过工程实例说明了其设计原则, 展示了这一技术所具有的推广应用前景。

关键词: 抗滑工程 小直径钻孔桩 组合效应

1. 引言

在滑坡防治工程中, 抗滑桩的应用十分广泛。普通抗滑桩可分为两类: 挖孔桩和大孔径钻孔桩。无论是挖孔桩还是钻孔桩, 通常都是采用增大桩体横截面(直径)和材料强度的办法来提高其抗滑能力。尤其是挖孔桩, 即使抗滑强度要求不高, 为便于人工施工, 也需要开挖较大的断面。然而, 大直径桩孔的施工无疑会造成对岩土体的扰动和结构破坏。在挖孔桩施工过程中, 如遇到坚硬的大块石或基岩, 还需要爆破, 对边坡稳定性造成更加不利的影 响。大口径的钻孔设备一般都比较庞大笨重, 强烈的机械冲击与震压, 以及为了护孔、清渣而使用循环液等, 都会降低滑坡的稳定性, 施工质量与安全也不易保证。其次, 大直径钻孔设备对施工场地和搬运条件都有较高的要求, 桩位布置和成桩深度也受到诸多限制。无论在什么条件下, 大直径钻孔桩的成本一般都较高。

鉴于普通抗滑桩的上述缺陷, 在复杂的地形、地质、交通和场地条件下, 使用起来较为困难, 故而迫切需要研究和应用新的抗滑桩技术。

2. 基本观点与功能优势

已故著名岩体力学专家陈宗基教授在一次学术演讲中谈起新奥法施工时说: “最好的办法是充分发挥岩体自身的强度来抵抗外力。这就是新奥法的实质, 其中包含了一个很重

要的力学概念。”^[1]这里, 陈宗基教授简明地道出了“地质工程”学科的一个非常重要的基本观点。

边坡地质灾害防治工程属于地质工程范畴。它是以地质体作为工程结构和材料, 并使之与地质环境相协调, 以达到确保边坡稳定的一种特殊工程。我们所说的小直径钻孔组合桩是指小于200mm的钻孔桩与桩间及邻近的岩土体紧密结合共同构成的抗滑体, 不是简单地把岩土体仅看作为荷载的支挡措施, 而是把岩土体亦为支挡结构的一部分, 与钻孔桩共同组成的组合桩。因此, 十分重视对地质体的改造和与地质体的有利组合去适应不良工程地质环境, 消除或大幅度削弱致灾地质作用^[3]。这便是它和普通抗滑桩以及一般“微型桩群”的不同观念与区别。

从理论上讲, 任何普通抗滑桩的强度与功能, 小直径钻孔组合桩都能达到。因为单就两个相并的钻孔桩的抗弯强度即已超过以两孔直径之和为直径的大桩的强度。如果再加上与之组合的岩土体强度, 其抗滑强度无疑是相等直径的大桩所远远不及的。也就是说, 按照地质工程的观点, 我们只需消耗很少的人工材料并采用简便的施工方法即可大幅度提高抗滑桩的防灾效果。而且, 如需将小直径钻孔组合桩与其他边坡防护工程(如挡板、挡墙、锚索、锚杆、轻型网状防护工程和生物护坡工程等等)配置使用也十分灵活方便。由于小直径钻孔组

合桩并不十分在乎单个钻孔桩的直径大小和强度,因而对设备的选择和要求不高,可尽量小型化和轻便化,充分利用现有钻进设备。

小直径钻孔组合桩的另一个功能优势是通过对地质体和地质环境的改造,阻止致灾地质作用的形成和发展。成本低廉的小直径钻进设备容易与现有的抽水、压水和灌浆等设备配套,用以改变斜坡的水文地质条件和岩土体及其中的不连续面的性质。既促使不良地质作用向良性循环转化,同时又大幅度提高了组合桩的抗滑能力和承载能力。

鉴于小直径钻孔设备小而轻,安装搬迁和成孔都十分快捷简便,可钻深度和岩芯采取率也较大,单桩和组合桩的空间布置较少受到限制,与工程地质环境和生态环境容易协调,故其应用范围可望大幅度拓展。

3. 设计原则与方法

3.1 设计原则

小直径钻孔组合桩是用钻孔桩与边坡岩土体共同组成适应地质环境的边坡结构,它改变了斜坡变形破坏的发展趋势,并控制其发展过程。因此,它是对原有斜坡地质结构和地质环境的充分了解,以及对滑坡成因及诱发因素的正确认识为设计前提的^[4]。故而,首先需进行专门的工程地质调查或必要的补充勘察。在此基础上,还要结合工程场地条件和施工条件来制定防治方案和进行详细设计。有时,在总体方案确定后,为寻求钻孔桩与地质体的最佳组合形式,还可能追加一些地质调查与测试工作,获取准确的设计参数,进行稳定性计算;在施工过程中也需要根据钻孔揭露出来的地质情况及时地对设计进行验证或调整。由此可见,对斜坡地质结构和地质环境的研究,不但是设计的前提,还应贯穿于设计和施工的全过程中。

小直径钻孔组合桩的设计仍须遵循技术可行和经济合理的原则,追求安全效果、经济效益和环境效益的最佳方案。在设计过程中,以

下原则和方法可供参考。

(1) 小直径钻孔组合桩一般是布置在滑体或孕滑体的前缘至中部。对于有多个滑面(多层滑体)的情况,如无其他防滑措施,也是布置在每层滑体的中下部。但对于滑面平缓的路堤滑坡,为充分利用组合桩的承载能力,也可布置在较高位置(如实例1)。

(2) 组合桩的深度必须至滑面以下,其滑面上下桩体的长度比可用类比法或力学计算确定。

(3) 组合桩的形式和数量视滑坡或孕滑斜坡的规模、工程地质条件及对组合桩的强度与功能要求而定。

(4) 各组合桩之间的间距按实施改造后的斜坡水文地质条件、岩土体的物理力学性质与水理性质而定。

(5) 组合桩的施工顺序对保证防治工程效果,加快施工速度和减少材料消耗等都是十分重要的,故应在设计中提出最佳施工顺序。对于一些不能变更的施工顺序应加以强调。

3.2 设计方法

用于斜坡地质灾害防治的小直径钻孔组合桩是一种新型抗滑桩,从受力机理上讲属于具主动改造作用的被动桩,在坡体发生变形或位移时调动桩间及邻近岩土体共同产生抗滑作用。小直径钻孔组合桩中的单一钻孔桩与普通抗滑桩的最大区别是断面很小,长径比很大,刚度及承载力较低,但这些单桩通过一定方式组合,并对相邻岩土体进行改造之后,便将其纳为组合桩的一部分,充分调动桩间及邻近岩土体的承载能力,达到抗滑目的。因此,小直径钻孔组合桩的承载性能是由桩和岩土体共同作用的结果,是十分复杂的荷载传递和分配的过程,其特性如下:

(1) 影响小直径组合桩工作性能的因素很多,分为三类,一是斜坡工程地质环境及桩受力条件,包括岩土体性质、滑动面位置、剩余下滑力大小及方向、外界附加荷载等;二是组

合形式,包括桩距、桩数、桩与桩之间的排列组合方式等;三是桩自身结构性能,包括桩的尺寸、强度、埋置深度、桩顶与桩底嵌固情况等。这些因素对组合桩产生相互作用,而且某些因素具有不确定性。

(2) 由于上述因素,小直径钻孔组合桩承受的荷载是变化的、不确定的。而且在桩承载过程中,荷载也会发生变化,例如桩的变形会反馈影响桩侧土体,导致荷载的调整和应力重分配。因此小直径钻孔组合桩的工作,实际上是桩—岩土体的协同工作,对于这样的结构体系的工作性能,目前无论是理论上还是实践经验上的认识都十分缺乏。

(3) 小直径钻孔组合桩中桩—岩土体的协同工作暂按群桩效应来处理。抗滑桩的群桩效应,是指在剩余下滑力作用下,桩与桩之间通过桩间岩土体相互影响,出现岩土体中应力重叠的现象。由于应力重叠的方向性,使抗滑桩沿边坡滑动方向上的相互影响远大于垂直于滑动方向的相互影响。在沿水平力作用方向的纵向桩排中的表现远大于横向桩排,前者的临界桩距约为 $8d$,后者约为 $2.5 \sim 3.0d$ 。此办法显然是偏安全的。

在进行小直径钻孔组合桩结构设计时必须考虑以上特性。由于小直径钻孔组合桩作用机理及受力特性的复杂性,其设计理论及方法尚待进一步研究,根据目前的工程实践,可采用等效截面方法进行组合桩的承载计算及结构设计,不同组合方式有不同的等效截面,可用等效截面系数表示。对组合桩中桩与桩之间的作用问题,可借鉴群桩效应或土钉墙中群锚效应进行分析研究。

4. 应用举例

有意识地按照上述观点和原则来设计小直径钻孔组合桩的例子目前尚不多见。但由于它施工简便、成本低廉和环保效益好,已显示出十分可观的推广前景。下面分别举出已经发生的公路滑坡和处于蠕滑状态的公路滑坡的防治

工程设计实例。实例一位于公路下边坡,实例二位于公路的上边坡。

例1: 四川省内宜高速公路K57+700~K57+840段右半幅路堤滑坡治理设计

该段公路位于自贡市以南的红层丘陵区,基岩地层岩性为中侏罗系遂宁组(J_{2SN})紫红色泥岩夹泥质粉砂岩。岩层产状平缓,为 $N73E/SE \angle 3 \sim 5^\circ$,形成方山和台阶状斜坡。该段泥岩缓坡下的基岩顶面倾角约 $5^\circ \sim 15^\circ$,上覆坡积物为亚粘土夹块碎石。公路左侧边坡为砂岩形成的陡坎,背公路面为布满稻田与水塘的冲沟,其沟底高出路面约10m左右。公路采用半填半挖的方式通过,右半幅基本上为填方,坡脚伸入另一冲沟内,该沟中也为稻田分布(图1)。

该段公路于1999年底建成通车,施工期间发现有股状地下水从松散层内渗出,当即进行了疏导处理。2000年6~7月路面开始出现裂纹,至9月初即发展成路堤下座,坡脚外侧土体上隆,滑坡迅速向隔离带和两侧发展,受损路段长80余米,有完全断道的危险。

经勘察后判断,滑坡为下部砂岩中季节性地下水浸润残坡积层和人工填土所致,但水头值不高,主要滑面应为基岩顶面。故治理时可先利用小直径钻孔组合桩对岩土体的改造功能,首先在钻孔中抽水,让松散土体压密,然后再进行灌浆,改造土体和滑面的性质,构成组合桩,并将各组合桩共同构成等厚的“地下挡墙”。考虑到该滑坡下滑力不大和具有“推移”特征,将两排组合桩上移至路面(图2),以便同时发挥其抗滑与承受动荷载的功能。此外,还根据施工揭露的情况在坡脚地带布置了水平排水孔,进一步消除地下水影响。由于小直径钻孔组合桩设备轻,施工简便,整个治理工程在保证单车通行的条件下,仅用一个月的时间即顺利完成,完工后地表无任何发生和治理滑坡的痕迹。现已经两年暴雨季节考验,效果理想,既保证了边坡稳定,又保护了耕地和生态环境。

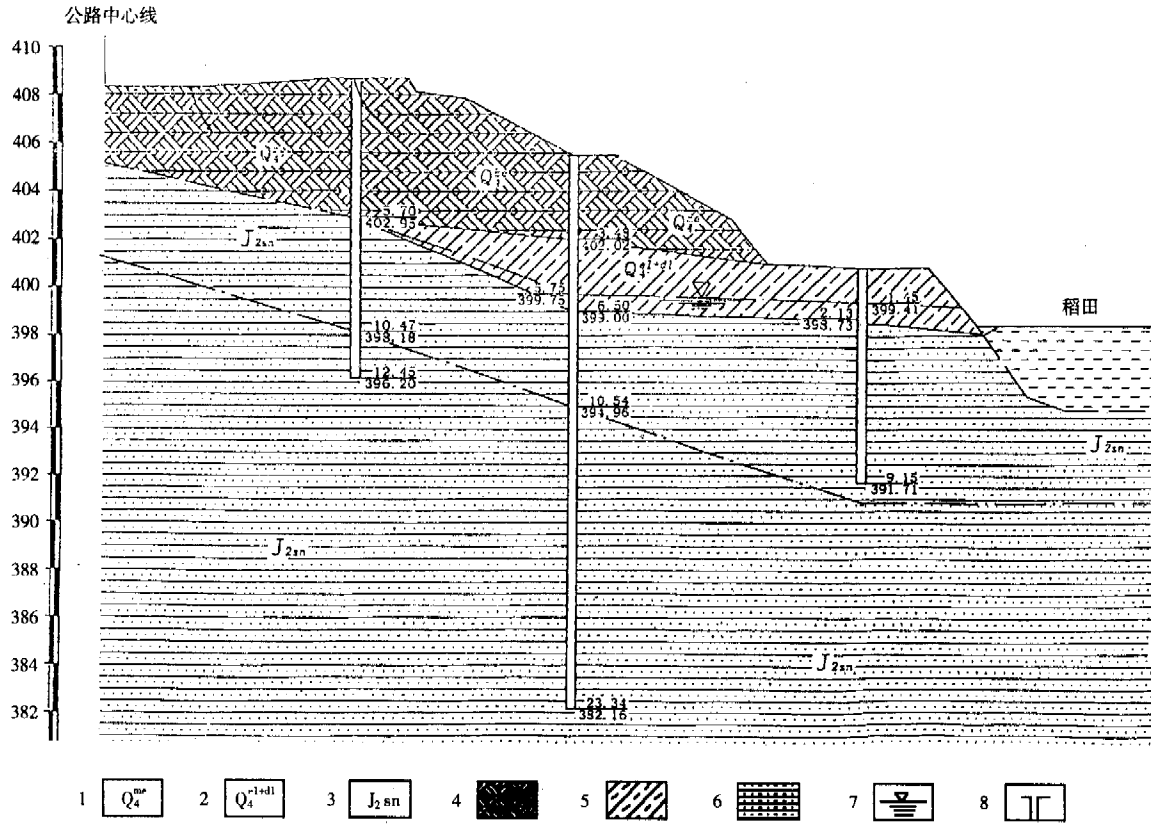


图1 内宜高速公路K57+710~850路段滑坡工程地质剖面图 (K57+760)

- 1、人工填土 2、第四系残坡积 3、侏罗系中统遂宁组 4、填筑土 5、亚粘土夹块石 6、砂岩 7、地下水位 8、钻孔

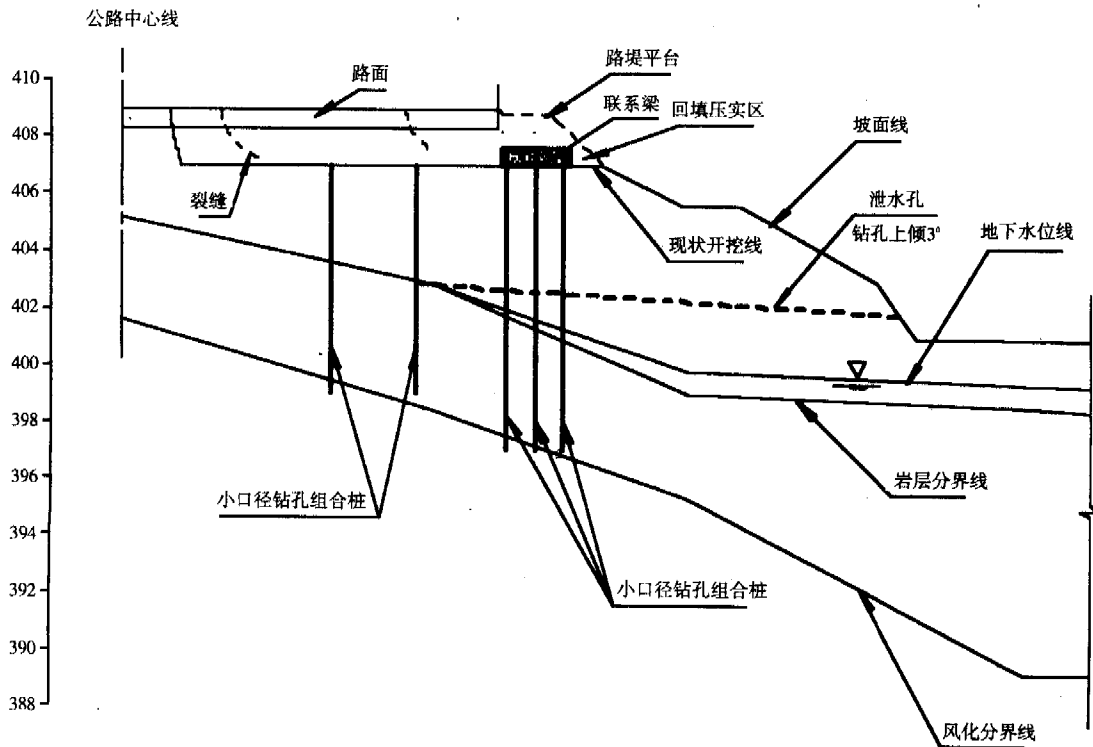


图2 内宜高速公路K57+710~850路段滑坡治理工程布置剖面图 (K57+760)

(下转第40页)

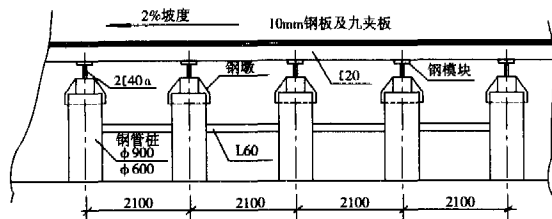


图10 徐浦大桥0号段排架示意图

开口处下落20mm，再放松千斤顶，使上部排架分块落低20mm。然后分别拖出模板、拆掉排架。

b. 混凝土浇注

0号段混凝土采用分块分次的施工方案。为

防大体积混凝土水化热引起的混凝土开裂，采取了优化混凝土配合比、分块浇注、控制温差、外蓄内散、减少混凝土内外温差等一系列措施来确保混凝土质量。

(a) 合理的分块分次浇注

0号段实体混凝土分两次浇注，第一次浇注量为740m³，分上、中、下游三块，上、下游两块各为297.5m³，中间一块为246.4m³；第二次浇注二条1.5m宽的后浇带，混凝土约67.5m³，采用C60微膨胀混凝土。两次浇注混凝土之间采用凹凸型接缝。见图11。

(待续)

(上接第26页)

例2: 内宜高速公路金银湖收费站滑坡防治工程设计

该段滑坡亦位于红层丘陵区，出露地层岩性为侏罗系中统沙溪庙组(J_{2s})紫红色粉砂质泥岩和长石石英砂岩互层。由于处在构造反接部位，裂隙较发育，边坡为稳定性较差的陡倾角超倾坡^[5]。坡顶冲沟中上部为一水塘，并有稻田与水渠分布。故而在公路一侧的边坡的坡面和滑坡脚有多处季节性地下水渗出点。该段公路也为1999年竣工通车，2000年雨季即发生挡墙外移和挤裂，蠕滑现象十分明显。根据斜坡结构类型和变形破坏特征判断，上部水塘和水渠的表水可能沿倾角较大的层面和节理密集带下渗，形成较大的动水压力和仰压力。因此，布置在滑坡脚的各组桩之间不宜连成“墙”，以利于地下水的排泄减压。每个组合桩中的钻孔桩由钢筋混凝土构成，仅使用低压灌浆，确保组合桩的整体性和强度即可。

从上述二例不难看出，每一处小直径组合桩的设计都必须根据具体的地质环境、斜坡结构、滑坡成因和场地条件等来确定，而不能简单套用。

5. 结语

斜坡地质灾害防治工程既属地质工程，也

是一项非常重要的环保工程。大规模的基础设施建设将在地形地质条件、气象条件和生态条件都十分复杂的地区逐步展开。原本十分脆弱的地质环境与工程建设之间的矛盾必然更加突出。其中，斜坡地质灾害问题将可能是某些工程建设成败的关键。在山高坡陡、施工场地狭窄和交通运输困难的条件下，斜坡地质灾害防治工程向轻型化、装配化^[6]、开放型、生态环保型方向发展将是一个必然趋势，也符合国际潮流。相信在社会需求和市场机制的推动下，按地质工程的观点对小口径钻孔组合桩技术的深入研究，将具有十分广阔的推广应用前景。

参考文献

- [1] 陈宗基, 关键在于正确的概念 [J]. 水文地质工程地质, 1982, 64(2): 5-10
- [2] 孙广忠, 论地质灾害防治 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(1): 1-5
- [3] 刘广润, 论地质灾害防治工程 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(3): 1-5
- [4] 张倬元, 滑坡防治工程的现状与发展 [J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11(2), 89-97
- [5] 陈喜昌, 一个用于防灾的坡型系统 [J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11(2), 107-111
- [6] 李海光 魏永幸, 新型、轻型支挡工程在南昆铁路的应用 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(1): 64-70