

543

83081

抗滑桩设计与计算

铁道部第二勘测设计院 编

中 国 铁 道 出 版 社

1983年·北京

前 言

抗滑桩是防治滑坡的一种工程建筑物。我国抗滑桩的型式，是六十年代在铁路建设的实践中，采用和发展起来的一项防治滑坡的重大技术革新。这种桩具有我国自己的特点，施工简便，效果突出，十多年来得到了推广應用和迅速发展，从而在较大程度上，改变了我国铁路滑坡防治技术的面貌。与此同时，抗滑桩的试验、研究也取得一些初步成果。近几年，铁道部还召开了三次全路抗滑桩经验交流及协作会议，进一步推动了抗滑桩的应用与发展。

1978年，铁道部科学研究院西北研究所马骥、张建仪、成都铁路局高同玠、西南交通大学池淑兰、第四勘测设计院徐凤鹤和第二勘测设计院徐良德、林再星、龚耀忠、何斌、何翠容等同志共同编写了一份《抗滑桩设计与计算参考资料》。本书是在上述参考资料的基础上，由第二勘测设计院同志再根据近年来对桩的试验研究和大量工程实践，分析总结，补充修改而成的，力图写出比较全面、系统切合应用的设计分析方法来。但是抗滑桩还存在着许多需要进一步研究解决的问题，这本书现阶段只是一个科研、设计成果总结。由于我们水平有限，书中难免有缺点、错误之处，请读者批评指正。

本书第一章由曾令录编写，第二章由林再星编写，第三章、结束语及附录、附表由曾令录、林再星共同编写，以上由刘家祺审校；第四章由何斌编写，徐良德审校；全书由刘家祺审阅。

铁道部第二勘测设计院科学技术研究所

1981年11月

目 录

第一章 概论	1
第一节 绪言	1
第二节 抗滑桩的应用与发展	2
一、国内状况	2
二、国外状况	13
第三节 抗滑桩的试验与研究	16
第四节 抗滑桩的设计与计算	19
一、抗滑桩设计计算步骤	19
二、国内现有的计算方法	20
三、国外现有的计算方法	21
第二章 抗滑桩设计	22
第一节 基本规定	22
一、使用条件	22
二、一般要求	22
三、作用力系	23
第二节 滑坡推力	23
一、滑坡推力计算	23
二、滑坡推力分布	25
第三节 桩周岩、土抗力	26
一、概述	26
二、弹性抗力	26
三、锚固段桩周岩、土抗力	29
四、受荷段桩周岩、土抗力	30
第四节 桩的要素设计	30
一、桩的平面位置及其间距	30

二、桩的截面及其计算宽度·····	31
三、桩的锚固深度及桩底支承条件·····	32
四、刚性桩与弹性桩的区分·····	35
第五节 桩的结构设计·····	36
一、材料·····	36
二、计算·····	36
三、构造·····	37
第三章 抗滑桩计算·····	39
第一节 悬臂桩法·····	39
一、受荷段内力计算·····	39
二、锚固段内力计算·····	40
三、算例·····	52
第二节 地基系数法·····	75
一、基本法·····	75
二、无量纲法·····	91
三、算例·····	104
四、受荷段地层采用换算地基系数的计算·····	122
第四章 抗滑桩的矩阵分析及计算程序·····	130
第一节 抗滑桩的矩阵分析·····	130
第二节 计算程序(DJS-6机)·····	135
第三节 程序的功能和使用说明·····	142
结束语·····	146
附录 悬臂桩简化法·····	148
附表一 地基系数参考数值(一)·····	154
附表二 地基系数参考数值(二)·····	156
附表三 钢轨截面计算数值·····	156
附表四 “ m ”法的影响函数值·····	157
附表五 “ K ”法的影响函数值·····	161
附表六 锚固段“ m ”法无量纲系数(桩底为自由端)·····	168
附表七 锚固段“ K ”法无量纲系数(桩底为自由端)·····	178

附表八	地基系数法受荷段(求滑动面处变位)“ m ” 法无量纲系数·····	194
附表九	地基系数法锚固段(求滑动面处变位) “ K ”法无量纲系数(桩底为自由端、 铰支端、固定端)·····	198
附表十	地基系数法受荷段“ m ”法无量纲系数·····	204
附表十一	地基系数法受荷段“ K ”法无量纲系数·····	228
附表十二	受荷段地层采用换算地基系数时“ $m-K$ ”法计 算系数(三角形荷载, 桩底为自由端)·····	244
附表十三	受荷段地层采用换算地基系数时“ $K-K$ ” 法计算系数(矩形荷载, 桩底为自由端)·····	256
附表十四	地基系数法锚固段“ m ”法无量纲系数 (桩底为自由端、 $A \neq 0$)·····	268
参考文献	·····	289

第一章 概 论

第一节 绪 言

滑坡是山体沿其内部软弱带或软弱面作整体、缓慢、间歇滑动的不良地质现象。同崩塌、错落、泥石流等一样，是山区建设中经常遇到的一大自然灾害。严重者，中断交通、堵塞河道、摧毁厂矿和掩埋村镇，给人们造成巨大损失。因此，防治滑坡有着十分重要的意义。我国在工程建设中，曾经遇到并防治了大量滑坡，积累了相当丰富的经验。

抗滑桩是防治滑坡的一种工程建筑物，设于滑坡的适当部位，一般完全埋置在地面下，有时也可露出地面。但无论前者还是后者，桩的下段均必须埋置在滑动面以下稳定地层一定深度。

抗滑桩类型较多：按施工方法分，有打入桩、钻孔桩和挖孔桩；按材料分，有木桩、钢桩和钢筋混凝土桩；按截面形状分，有圆形桩、管形桩和矩形桩；按桩与土的相对刚度分，有刚性桩和弹性桩；按结构型式分，有排式单桩、承台式桩和排架桩等等。

抗滑桩的设计理论和计算方法，至今没有完全一致的认识。抗滑桩是凭藉桩与周围岩、土的共同作用，把滑坡推力传递到稳定地层，即利用稳定地层的锚固作用和被动抗力，来平衡滑坡推力；桩在滑坡中，在一定程度上改善了滑坡状态，促使滑坡向稳定转化。与防治滑坡的传统措施，例如排水、减载、挡土墙等工程相比，抗滑桩施工简便，效果突出，因而在国内外均得到了迅速的发展，广泛地为人们所重视。

根据抗滑桩类型的不同，兼有以下优点：

1. 抗滑能力强，圬工数量小，在滑坡推力大、滑动带深的情况下，能够克服抗滑挡土墙难以克服的困难。

2. 桩位灵活，可以设在滑坡体中最有利于抗滑的部位，可

以单独使用，也能与其它建筑物配合使用。

3. 可以沿桩长根据弯矩大小合理地布置钢筋。因此，在相同条件下，比一般不能分段布置不同数量钢筋的桩（如管形桩、打入桩）要经济。

4. 施工方便，设备简单。采用混凝土或少筋混凝土护壁，安全、可靠。

5. 间隔开挖桩孔，不易恶化滑坡状态，利于整治正在活动中的滑坡，利于抢修工程。

6. 通过开挖桩孔，能够直接校核地质情况，进而可以检验和修改原来的设计，使之更切合实际。发现问题，易于补救。

7. 用来整治运营铁路上的滑坡，一般不会影响行车。

目前我国常用的挖孔桩，对后几项优点方面特别显著。采用抗滑桩防治滑坡，一般要考虑以下几方面：

1. 对地质条件简单、滑动面不深的中、小型滑坡，宜在滑坡前缘设一排抗滑桩。

2. 对轴向很长的多级滑坡或推力很大的滑坡、宜设两排、三排抗滑桩分级防治。也可采用在上部设抗滑桩，下部设挡土墙的方式，联合防治。

3. 当滑动面位于路基面以下，路基本体有可能滑动时，抗滑桩宜分别设在线路两侧。

4. 滑坡前缘受水流冲刷时，还应作支挡防护工程。

5. 对石料缺乏地区的滑坡防治工程，尤宜优先使用抗滑桩。

由于目前施工上主要以人力和半机械挖掘桩孔，井下作业多，深孔条件差，工率低，因此，除特殊情况外，一般不宜使用特别长的抗滑桩。

第二节 抗滑桩的应用与发展

一、国内状况

我国铁路最早应用抗滑桩是五十年代修建宝成铁路，当时

的桩即与现在挖孔、灌注的抗滑桩一样，系钢筋混凝土的，但主要用于整治少数岩石顺层滑坡。例如，在史家坝隧道进口石灰岩顺层滑坡，经用几根3米长的抗滑桩，埋置在滑动面上、下，即稳定了滑坡，如图1—1所示。

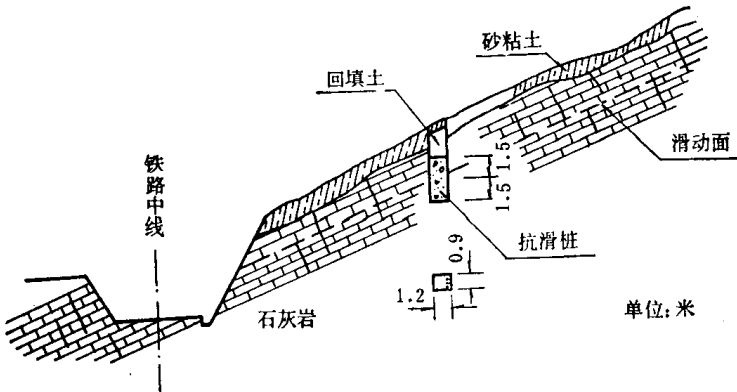


图1—1 史家坝滑坡横断面图

1965年，修建川黔铁路，对楚米铺滑坡采用钢筋混凝土圆管打入桩与沉井相结合的措施进行整治。如图1—2，管桩共三排、20根，利用160型震动打桩机施工，桩顶在平面上用混凝土及钢筋混凝土水平桁架联结，形成良好的桩群结构，共同抗滑。

对抗滑桩的应用与发展影响较大的是修建成昆铁路。1966年，在该线的设计和施工中改变了以往整治滑坡施工难，成效慢的局面，勇于实践，首先采用了大截面的挖孔、灌注的排式单桩来整治大型、复杂的甘洛2号、沙北1号滑坡。同时，初步建立了一套相应的设计、计算方法。

甘洛2号滑坡和沙北1号滑坡是采用桩、墙结合“上锚下挡”整治的。图1—3为沙北1号滑坡横断面图，设在滑坡中部的抗滑桩，承受很大一部分推力，一俟竣工，再于滑坡下部挖路堑、设挡土墙。与原拟的框架明洞方案、抗滑挡土墙方案相比，既利于施工，又分别节省钢材30吨、圬工2,000立方米，显示出多方面的优越性，深受现场欢迎。

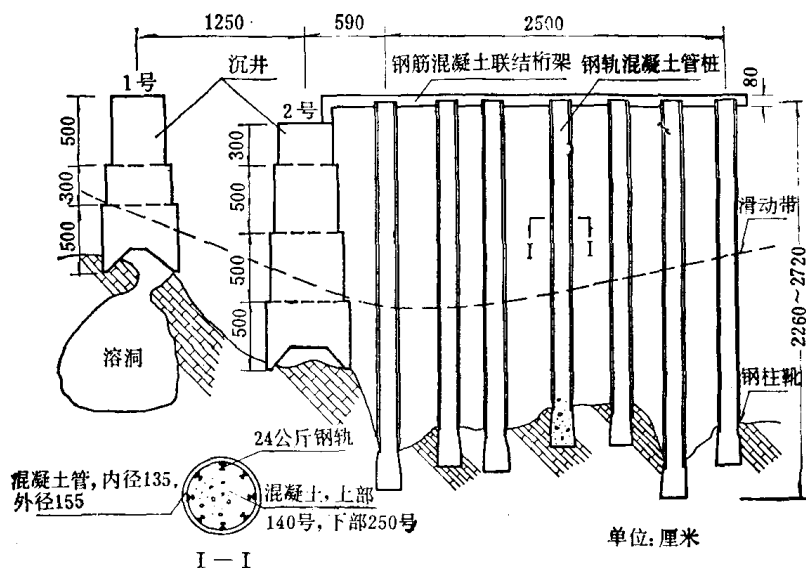


图 1—2 楚米铺滑坡管桩、沉井抗滑结构示意图

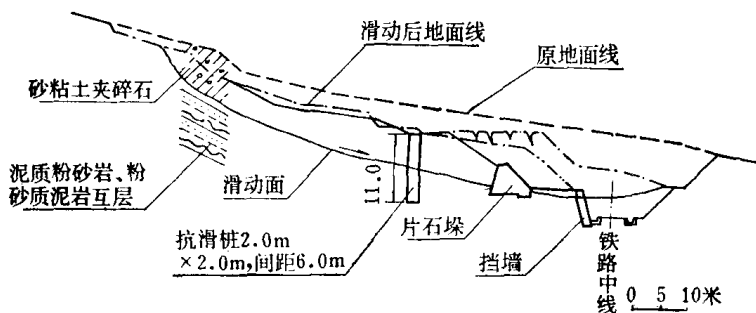


图 1—3 沙北 1 号滑坡横断面图

具有突破意义的这两次尝试成功后，接着又用这种抗滑桩整治拉普、下普雄、尔塞河、沙北 2 号等滑坡，施工顺利，效果好。据统计，全线在修建期间，于 10 处滑坡，共设桩 137 根，累计长度 1,983 米。从此，这种具有我国自己特点的抗滑桩，一跃成为路基工程的一项重大技术革新，在实践中蓬勃发展，在较大程度上，迅速地改变了我国铁路滑坡防治技术的面貌。

七十年代初期，在修建湘黔铁路和襄渝铁路中，抗滑桩得到

了大量推广。

湘黔铁路贵州省境内，在37处滑坡中，共设桩478根，累计长度达4,530米。图1—4是镇远一段路堑挡土墙，1972年4月竣工，1974年雨季山坡变形、滑动，造成60米挡土墙歪斜、断裂。随后，自挡土墙胸部开始，紧贴墙身用12根悬臂式抗滑桩进行加固，才稳定了山坡和挡土墙。工程小，效果好。

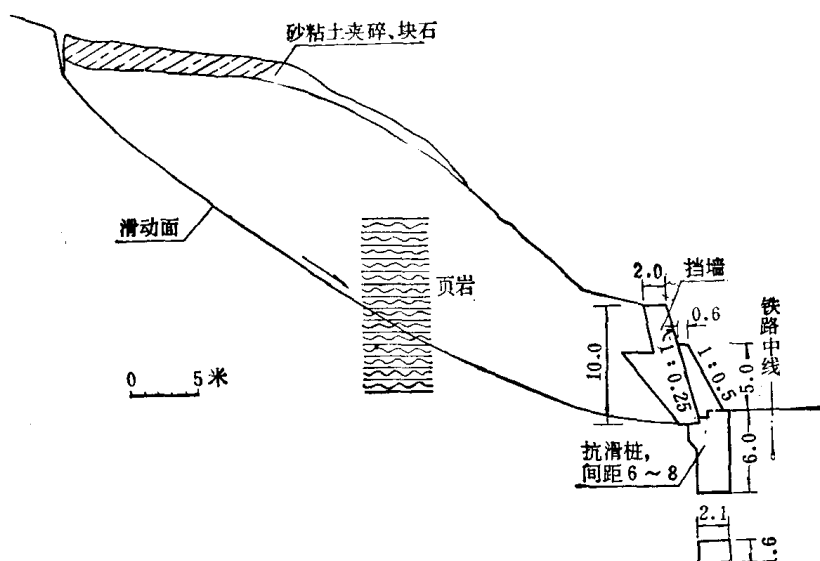


图1—4 镇远滑坡横断面图

该线位于峡谷断层地带的大栗树车站，地层稳定性差，1971年雨季铺轨前夕，连续发生滑坡，其中2号、3号、5号滑坡最严重，已成的路基急剧变形、坍塌，民房破坏。以后经三个月整治、抢修，在这三处滑坡共设桩75根，遏止了滑动，保证了通车。图1—5为大栗树2号滑坡平面图。

襄渝铁路在27处滑坡中，共设桩408根，累计长达7,796米。特别是用抗滑桩成功地整治了许多复活的深层、特大古滑坡。例如石庙沟车站东端的赵家塘滑坡，如图1—6所示。滑坡处于变质岩大断裂地带，构造极其复杂，又濒临汉江，横宽250米，纵

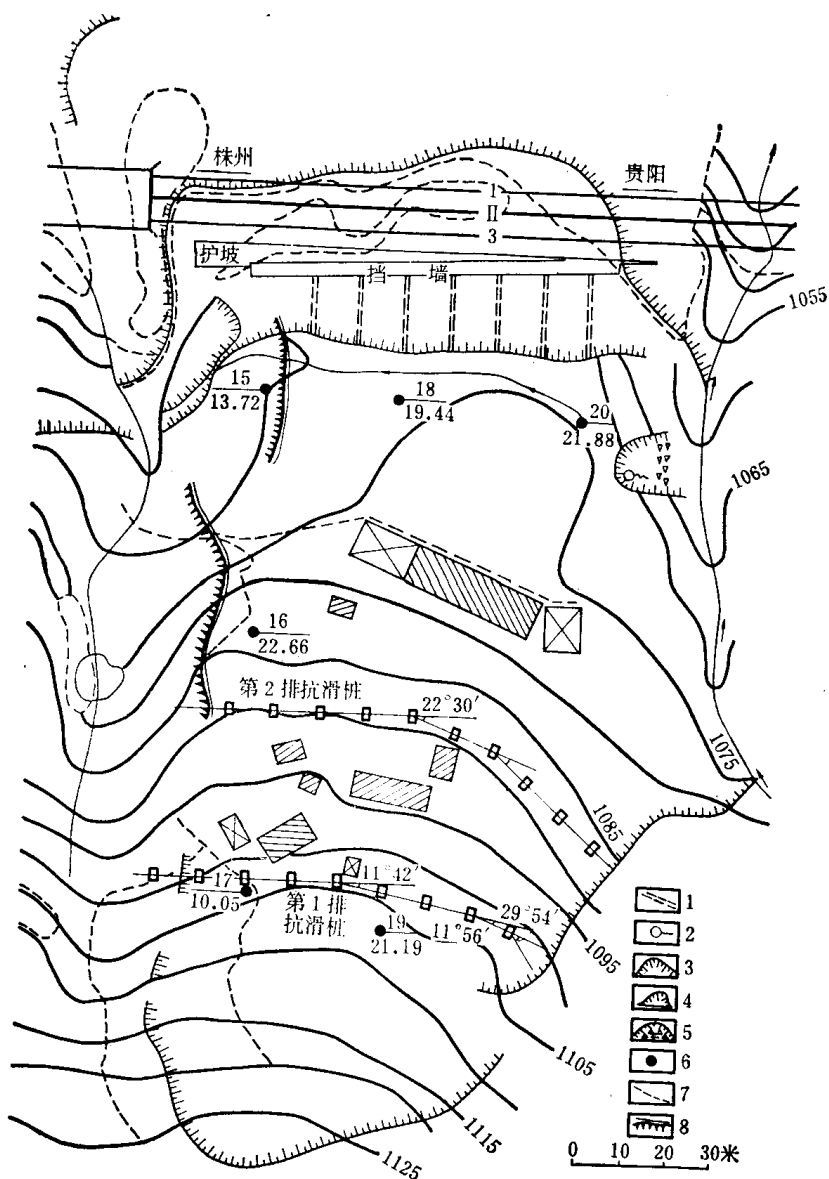


图 1—5 大栗树 2 号滑坡平面图

1——支撑渗沟；2——泉水；3——主滑坡；4——滑坡；5——坍塌；
6——钻孔；7——土石分界线；8——裂缝。

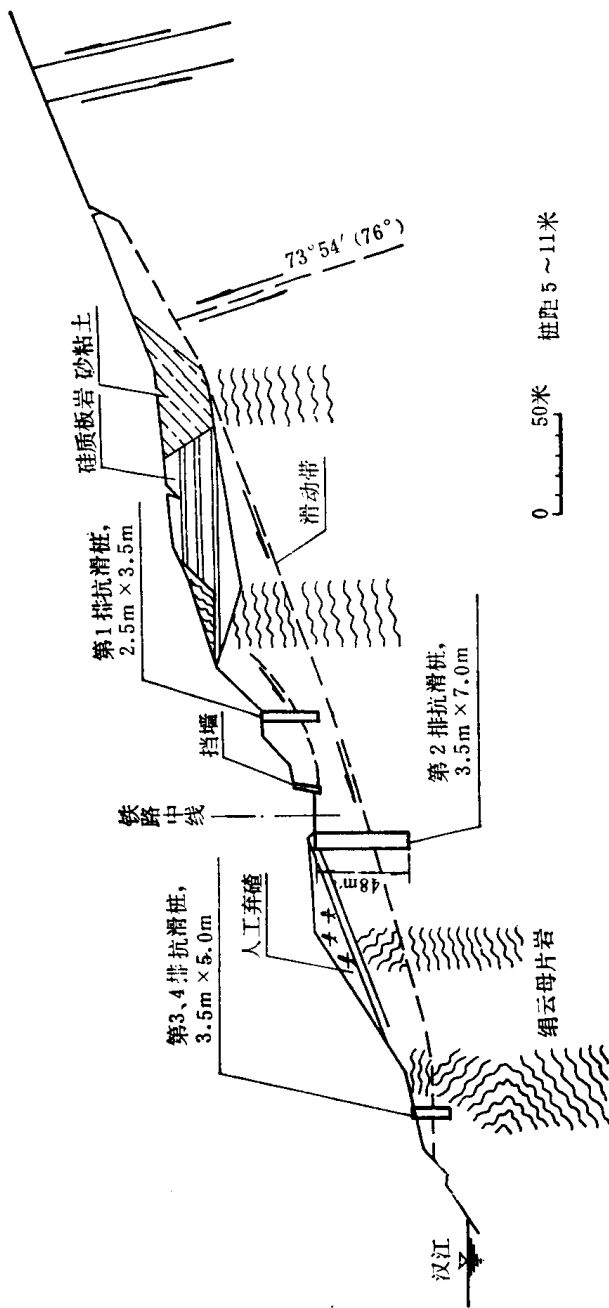


图 1—6 赵家塘滑坡横断面图

长500米。滑动带深度一般达二、三十米，滑动速度平均每月30毫米，最快时六天之内达21毫米。当时已建成的铁路，似有山移路断之势，危害巨大。以后，经过详细的调查研究和分析比较，采用了大型抗滑桩整治，方使滑坡稳定。共设桩4排、63根，累计长度1,681米，其最大截面为3.5米×7.0米，单根长度和竖井开挖深度分别达48米和50米，是目前我国最大、最长的抗滑桩。

该线的白河车站杨家沟滑坡，滑动面深达25~30米，整治时共设抗滑桩2排、42根，累计长度1,213米，其中最長者为46米。

渡口铁路支线103站，路堤高度16米，8股道，上临工厂，下靠公路和金沙江岸坡。因其地基中的“昔格达层”是由含伊利石和蒙脱石成分的粘土、砂粘土、粉细砂组成的，遇水极易膨胀、软化。1968年8月，施工填土接近完成时，一场大雨促使路堤沿昔格达层滑动，形成横宽320米，纵长115米的大滑坡，滑动距离和后缘错壁高度均为4米之多，前缘隆起，致使江边五栋楼房倒塌，公路中断。以后两、三年间，曾先后采用排水、挡土墙工程整治，未能见效。1971年8月雨后，滑坡再次急剧滑动，范围进一步扩大，摧毁了全部铁路、桥梁、公路和水电网路，危及工厂，威胁严重。随即日夜奋战，抢修了65根抗滑桩，并设置了若干盲沟、支撑渗沟、排水沟等，才遏止了滑坡，稳定了路堤。情况见图1—7。

又如梅七铁路专用线，沿线砂、页岩质地软弱，黄土湿陷严重，堆积层不稳定，滑坡现象多。自1973年开始，几年中使用200余根抗滑桩整治，效果也相当好。

其它诸如枝柳、太焦、阳安、鹰厦等铁路，以及羊场等支线，也相继使用了不少抗滑桩整治滑坡。

据统计，仅西南地区铁路部门即已修建抗滑桩1,000多根，累计长度16,500多米。

十年前，施工方面针对我国实际情况，创造了自上而下，逐层用混凝土或少筋混凝土护壁的施工技术，较好地解决了人力和

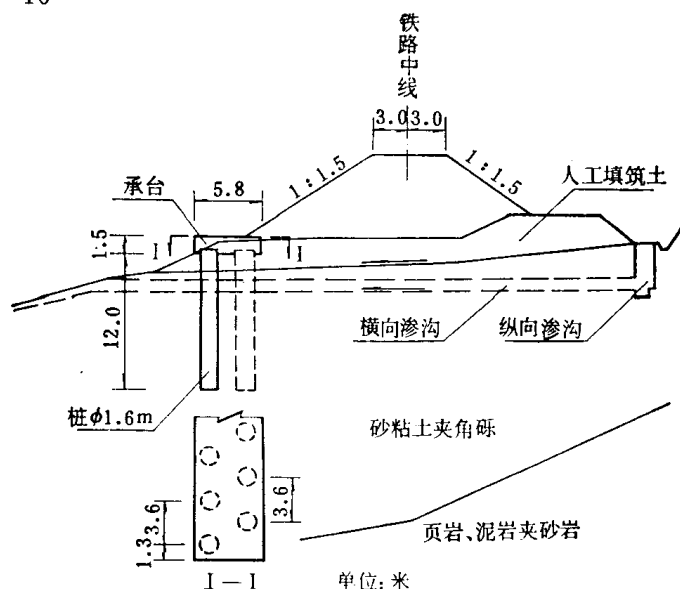


图 1—8 下普雄路堤滑坡横断面图

1979年，整治成昆铁路玉田车站三线大桥滑坡，在滑动带深达29米的条件下，修建一处排架抗滑桩。排架抗滑桩刚度大，内桩受拉，外桩受压，受力条件较排式单桩有明显改善，因而减小了桩的弯矩、锚固深度和桩的截面，提高了承载力。每一排架由两根竖桩与两根横梁联结组成，下横梁仿效隧洞导坑掘进法施工。结构示意图见图 1—9。

近年来，随着铁路的修建，类似抗滑桩的新型支挡建筑物亦不断出现。例如，修建焦柳铁路时，在枝柳段施溶溪车站，路堑施工中切割了古滑坡舌部而引起山体滑动。经适当刷坡减载，并主要在路堑坡脚设置一段椅式桩墙，稳定了山体。椅式桩墙由内桩、外桩、承台、上墙和拱板五部分组成。其工作原理是，用拱板支承滑动土体，并将推力通过内、外两桩传给稳定地层。因用刚性承台将内、外两桩联成整体框架，转动惯量大，承受弯矩的总刚度较同等截面的单桩大 5~10 倍，故抗滑能力大，而桩壁应力只有单桩的 17~31%，在软弱地层更可显示其优越性。结构示意图见图 1—10。

砂粘土夹碎石

滑动面

冰碛砾岩, 风化极严重

桥式桩墙

铁路中线

拱板

上墙

承台

内桩

外桩

水沟

泥质砂岩

单位: 米

再如，焦柳铁路集坪车站3号滑坡，路堑开挖后，山体沿路
基面以上3米和路基面以下4米的软弱带滑动。经在路堑坡脚修

建一段桩拱墙，成功地遏止了滑动。桩拱墙是在悬臂单桩之间直接砌筑水泥砂浆片石的拱墙而成。桩在路基面以上的部分，系带梗肋的“丁”形截面，两侧翼缘即为拱座，如图 1—11。该处工程，桩长12米，埋入滑动面以下（砂岩）4米。采用石拱，节省了较多的钢筋。

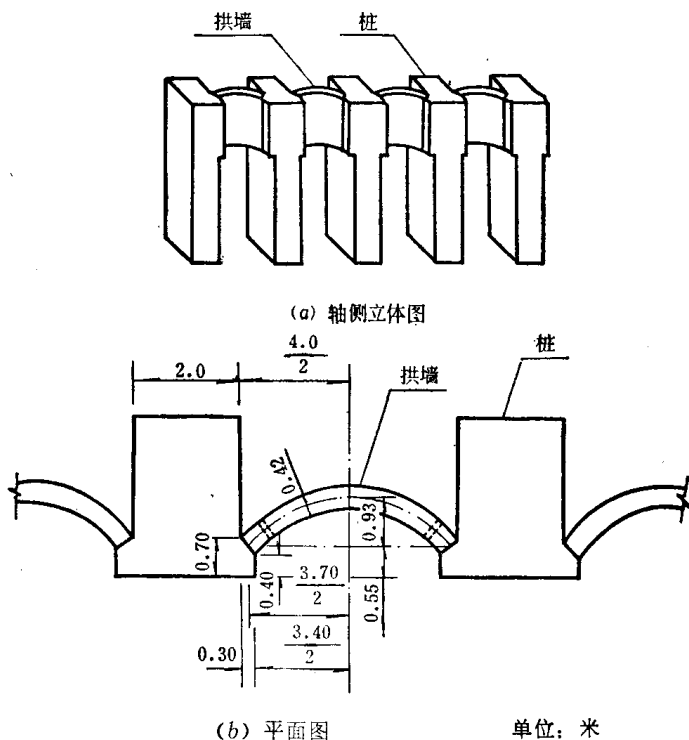


图 1—11 桩拱墙结构图

另外，与桩拱墙相仿，而结构更简单的为桩板式抗滑桩，它是由半埋式单桩及在两桩之间逐层安设或浇注的挡土板而组成。这种结构在襄渝铁路和湘黔铁路应用较多，有时又称桩板式挡土墙。图 1—12是成昆铁路狮子山桩板式抗滑桩。

在工程实践中，结合具体情况，采取措施，节省工程的方法也比较多。例如，当滑动带以下稳定地层是完整、坚硬的岩石