

# 辽河特细砂混凝土配制初探

宓永宁, 赵津霆, 岳川, 邵欣 (沈阳农业大学, 辽宁沈阳 110866)

**摘要** 针对辽河中下游特细砂产量大、亟待开发利用的现状, 展开辽河特细砂混凝土配合比设计相关研究; 首先通过加密筛分试验确定该地区特细砂的细度模数及级配情况, 进而进行特细砂混凝土的试验研究, 应用“三低一起”原则进行配合比设计, 确定不同水灰比和砂率特细砂混凝土间和易性与强度的差异, 利用水灰比与强度之间的线性关系推导回归方程, 并将试验结果汇总同普通中砂混凝土相应性能进行比较, 从而了解特细砂混凝土的相关性能情况。给当地特细砂混凝土施工给予一定的参考价值。

**关键词** 特细砂; 颗粒级配; 回归分析; 配合比; 混凝土

中图分类号 S274 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)31-12486-04

## Preliminary Discussion of Liaohe River Super-fine Sand Concrete Compound

MI Yong-ning et al (Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

**Abstract** Aiming at super-fine sand large production and need to be developed and utilized status in middle and lower reaches of Liaohe River, relevant research about super-fine sand concrete mix design was carried out. First through encryption screening experiments to determine the region's fine sand fineness modulus and gradation condition, and then carry out super-fine sand concrete pilot study, using three low one extra principle to determine the workability and strength differences of different water-cement ratio and sand ratio between super fine sand concrete. The regression equation was obtained by the use of linear relationship between gray water ratio and intensity, and the test results were summarized and compared with ordinary concrete performance, so as to understand the relevant performance of super fine sand concrete situation. The study can provide a certain reference for local super-fine sand concrete construction.

**Key words** Super-fine sand; Particle size distribution; Regression analysis; Mix; Concrete

目前用特细砂作为细骨料所拌制的混凝土应用范围越来越广, 技术上已趋于完善<sup>[1]</sup>, 其强度等级多在 C15 ~ C30。根据砂筛分试验, 凡细度模数在 0.7 ~ 1.5 区间的砂定为特细砂。在一些地区, 中砂资源匮乏, 但特细砂资源较为丰富, 其在价格上和中粗砂相比有很大的优势, 而且特细砂在混凝土中的力学性能与同等级的中砂混凝土相当。所以, 特细砂在混凝土中的应用前景广阔, 并能获得巨大的社会效益与经济效益。在特细砂混凝土的早期研究中, 特细砂粒径小细度模数小表面积大含泥量大, 在拌合混凝土时需要加入的水就多, 直接对混凝土的耐久性产生影响, 如裂缝强度降低等。为了解决这些问题, 大量学者都进行了试验, 但并未有对应一个地区的相关的特细砂混凝土配制规范。所以笔者利用辽河流域特细砂产量较大为契机, 对辽河特细砂进行初步研究, 找出配制辽河特细砂混凝土的相关规律。

辽河位于中国东北地区南部, 是我国 7 大江河之一。从福德店到双台子河口, 辽河干流流经了铁岭、沈阳、鞍山、盘锦 4 市, 干流河道全长 538 km, 河道最宽处达到 5 km。宽阔的河道内富含各种资源, 砂石质量尤佳, 非常适合于建筑工程使用。正是由于这个原因, 引发了 20 世纪 90 年代末开始的辽河采砂热潮, 由于开采量大、开采不规范及监管不足, 造成了辽河河道砂石滥采现象极为严重, 使该地区粗、中砂严重缺少, 细度模数小于 0.9 的特细砂大量存在。把如此大量的特细砂资源利用起来, 不仅可以促进当地的经济的发展, 也会为其他特细砂资源丰富的地区提供一个工程上的依据。

### 1 特细砂混凝土的配制原则

特细砂混凝土的“三低一超”原则如下, 此原则常作为普

遍配制方式而被采用, 该研究将依照此原则进行配合比设计。

(1) 低砂率。集料对混凝土的收缩有一定影响。细集料细度模数越低、含泥量越大, 达到一定的工作性能所需水泥用量和拌合水用量也越大, 混凝土的收缩也越大。这是特细砂混凝土宜采用低砂率的重要原因之一。在实践中, 计算特细砂不考虑浆体的富裕系数, 而采用比计算值小 2% ~ 3% 的砂率配置较为适宜。低砂率特细砂混凝土产生的和易性差的问题, 采取粉煤灰的超量取代来解决。

(2) 低坍落度。实践表明, 采用常规坍落度 (40 ~ 60 mm) 施工, 振捣后的特细砂混凝土表面易出现一层 30 ~ 40 mm 厚的砂浆, 对混凝土抗裂十分不利。当特细砂混凝土振捣时, 易液化、流动性好、易振捣密实, 这一特性使得特细砂混凝土进行低坍落度施工成为可能。特细砂混凝土的坍落度一般不超过 30 mm, 在施工中可以控制在 20 mm 左右。

(3) 低水泥用量。特细砂混凝土要求低水灰比, 高流动性, 势必增加混凝土的总细粉用量和砂率, 这会导致混凝土收缩率的增加。因此采用低砂率、低坍落度拌制特细砂混凝土时, 应考虑合适的水泥用量, 一般要比常规用量少 1/6 左右。

(4) 粉煤灰的超量替代。当采用低砂率、低水泥用量时, 混凝土和易性会受到影响。为改善混凝土和易性, 采用粉煤灰的超量取代法。所谓的超量取代法是指粉煤灰总掺入量中, 一部分取代等体积的水泥, 超量部分粉煤灰取代等体积的砂。现场试验表明, 在相同水灰比下, 粉煤灰的掺入量不足 20% 对特细砂混凝土性能改善不明显, 掺入量在 25% 以上才有明显作用。

由于特细砂颗粒细小、级配不良, 比表面积大, 耗水量较大, 在试验过程中可掺入高效减水剂进行调整<sup>[2]</sup>。加入高效

作者简介 宓永宁 (1957 -), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 教授, 从事水工材料与岩土工程研究。

收稿日期 2013-09-23

减水剂一是为了增加特细砂混凝土的流动性,方便施工,二是通过减少用水量来提高特细砂混凝土的强度,以便在实际使用中可以使其与中砂混凝土拥有相近的抗压强度。另外,特细砂的含泥量比较大,考虑到这一点,试验中可以将特细砂用水冲洗以提高试验的精确度。

## 2 辽河特细砂的性质

**2.1 颗粒级配与粗细程度** 通过筛分试验确定样砂的细度模数并绘制级配曲线。首先,按照《建筑用砂》规定将砂样分成 A、B 两组进行标准筛分试验,标准套筛筛孔尺寸依次为:4.75、2.36、1.18、0.6、0.3、0.15 和 0.075 mm,并确定其细度模数,试验数据及结果见表 1。

表 1 各个样本标准筛分试验结果(表转向)

产地	筛孔 mm	筛余量//g		分计筛余//%		累计筛余//%	
		1	2	1	2	1	2
辽河流域	4.75	0	1	0	0.2	0	0.2
	2.36	5	3	1	0.6	1	0.8
	1.18	7	8	1.4	1.6	2.4	2.4
	0.6	20	19	4	3.8	6.4	6.2
	0.3	235	220	47	44	50.4	50.2
	0.15	150	153	30	30.6	81	80.8
	0.075	80	90	16	18	99	98.8
M 值						1.412	1.408
均值							1.404

注:样品重 500 g。

细度模数计算公式如下:

$$M_x = (A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 - 5A_1) / (100 - A_1)$$

由表 1 可以看出,4.75 mm 以上颗粒含量极少,大部分颗粒在 0.6~0.15 mm 之间,它们的细度模分别为 1.412 和 1.404,均小于 1.5。计算样品累计筛余并做出相应的级配曲线图 1,该图显示:A、B 砂的级配曲线在过细砂区,且各筛孔上颗粒含量分布不均匀,级配不良<sup>[3]</sup>。

在混凝土的配置中,级配不良的骨料对于水泥的需求量大,在试块的成型过程中,水化热高,试块内部容易产生裂缝,进而影响混凝土的强度。尽管通过调整配合比改善这种情况,但级配不良的问题依旧是特细砂混凝土强度低于中砂混凝土的主要原因。

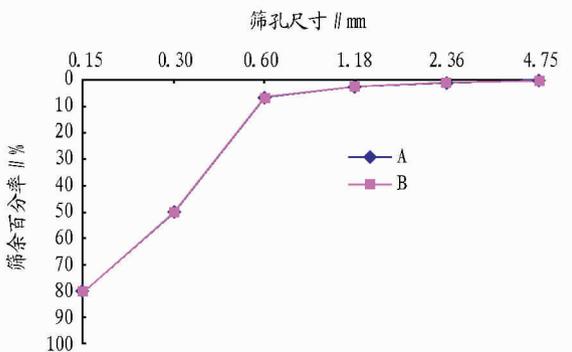


图 1 A、B 标准筛分颗粒级配曲线

通过加密筛分试验可以获得较为准确的辽河特细砂分布情况:在 0.6 mm 以下添加 0.50 和 0.45 mm 的方孔筛,在 0.3 mm 以下添加了 0.25 和 0.18 mm 的方孔筛,同时补充了

0.075 mm 的方孔筛对 3 种砂样本进行筛分试验<sup>[4]</sup>。

**2.2 辽河特细砂的物理性质** 辽河特细砂的分布及物理性质见表 2 和表 3。

表 2 辽河特细砂分布情况

粒径范围//mm	含量//%	粒径范围//mm	含量//%
0.075~0.15	4.2~27.2	0.3~0.45	5.4~30.4
0.15~0.18	14.4~29	0.45~0.5	0~0.4
0.18~0.25	5.3~5.6	0.5~0.6	0~1
0.25~0.3	20.4~36.6	>0.6	0.8~6.4

表 3 砂料物理性质试验成果

检测项目	标准值	检测结果
		特细砂
表观密度//kg/m <sup>3</sup>	>2 500	2 568
含泥量//%	<5	2.5
云母含量//%	<2	微量
松散堆积密度//kg/m <sup>3</sup>	>1 350	1 369
紧密堆积密度//kg/m <sup>3</sup>	-	1 609
空隙率//%	<47	43.18

## 3 辽河特细砂混凝土试验研究

**3.1 试验材料与方案<sup>[5]</sup>** 试验材料:胶凝材料为 P·O42.5 级水泥,细度、体积安定性等指标符合 GB175-2007《通用硅酸盐水泥》要求;粗骨料为 5~25 mm 连续级配卵石。

已知同配合比特细砂混凝土强度明显低于中砂混凝土强度,坍落度略低于中砂。按混凝土试配公式计算与实际试验对比,中砂混凝土的强度与理论符合,特细砂配制的混凝土的强度比中砂配制混凝土的强度要低得多。目前还没有相应的特细砂混凝土配合比理论公式,所以参照普通混凝土的配合比计算,需对用砂和水作相应调整<sup>[6]</sup>得出以下试验方案。

特细砂混凝土配合比设计方案:①利用砂样配制定灰灰比、定砂率混凝土,观察混凝土拌合物的粘聚性、保水性及流动性,并按照实际情况进行调整,配制试块;②配制不同灰灰比和不同砂率的混凝土试块,以待强度检验,在此基础上改变砂率继续配制试块,待强度检验;③最后,利用成形较好性能优良的试块进行立方体抗压试验,并根据强度检验结果建立灰水比与强度之间的回归方程,调整配合比公式,得出结论。

试验操作按照《普通混凝土配合比设计规程》进行,所选试模尺寸 100 mm×100 mm×100 mm,一组试模包括 3 个试块,具体配制组数根据实际需要确定。

**3.2 试配混凝土的性能分析** 选定灰灰比为 0.40、0.45、0.50、0.55,配制不同砂率混凝土<sup>[7]</sup>,观察混凝土的和易性,试验结果见表 4。

由表 4 可以看出,试配混凝土的坍落度很低、流动性较差,砂率依旧过高,但混凝土的粘聚性和保水性较好。初步依据此配置比例进行试块配制,检验其 28 d 的强度。

**3.3 试块的试验结果与分析** 由图 2~4 可知,灰灰比为 0.45 时,试块的抗压强度随着砂率的增大而增大,而灰灰比 0.50 和 0.55 的关系图中,强度会随着砂率的变化出现峰值,

随着砂率的增大,强度会逐渐变小。

表4 调整砂率的混凝土拌合物试验结果

水灰比	砂率	水	水泥	砂子	石子	坍落度	粘聚性	保水性
w/c	Bs/%	m <sub>w</sub>	m <sub>c</sub>	m <sub>s</sub>	m <sub>g</sub>	mm		
0.40	26	190	475	454	1 292	10	好	好
0.45	27		422	484	1 308	15	好	好
0.50	28		380	512	1 317	10	好	好
0.55	27		345	502	1 357	15	好	好

混凝土中的砂浆应包裹石子颗粒并填满石子间的空隙。若砂率过高,石子含量相对过少,骨料的空隙及总面积较大,在水灰比及水泥用量一定的情况下,混凝土拌和物则显得干稠,流动性差。若砂率过低,则砂浆量不足,不能在石子周围形成足够的砂浆润滑层,将降低拌和物的流动性,严重影响混凝土拌和物的粘聚性及保水性,使石子分离、水泥浆流失,甚至出现溃散现象。因此,混凝土的砂率不能太低,也不能太高。合理的砂率应是在水灰比及水泥用量一定的条件下,使混凝土拌和物保持良好的粘聚性和保水性,并获得最大的流动性<sup>[8]</sup>。

已知的灰水比与特细砂混凝土 28 d 抗压强度关系的回归方程<sup>[3]</sup>为:

$$f_{cu,0} = A \cdot c/w + B$$

利用线性回归,可以生成上图的灰水比与抗压强度的图线,得出回归方程分别用 3 种颜色表示,其中砂率 27% 相关性最高,得出  $A = 29.037$ 、 $B = -23.822$ ,可进行进一步更细致的试验进行验证(图 5)。砂率在 23% 时的相关性较低,可以进行重复试验来推导。不管是什么样的灰水比,都可以看出 A 与 B 的值受砂率影响很大,可以固定砂率,调整灰水比,反复试验得出一个较为稳定的 A、B 值。

尽管灰水比与强度的图形接近直线,但从图 5 中可以明显看出:随着水灰比增大,抗压强度下降的幅度变大。笔者认为有以下原因:特细砂粒径较小,级配较差,水泥用量和需水量较中砂要更大,试验过程中选取的是标准用水量,试配

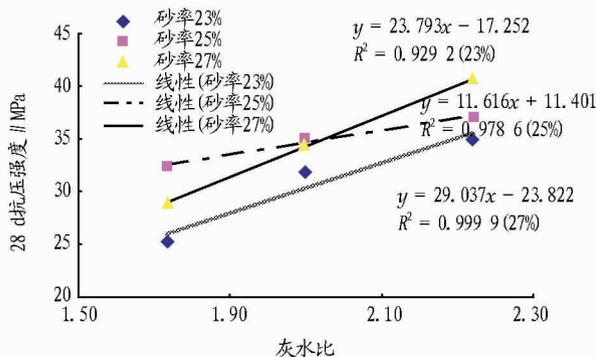


图5 灰水比与抗压强度在 3 种砂率情况下的线性回归

出的混凝土流动性很差,坍落度很低,说明用水量没有达到特细砂混凝土的强度敏感值。按照最小水灰比理论,试块的用水量没达到水泥完全水化的含量,所以很多未水化的水泥颗粒保留在浆体中,高含量的未水化水泥和低孔隙率增加了混凝土强度。水灰比 0.55 的强度下降较为显著是因为随着水灰比增大,用水量满足了浆体的水化反应,强度开始随着

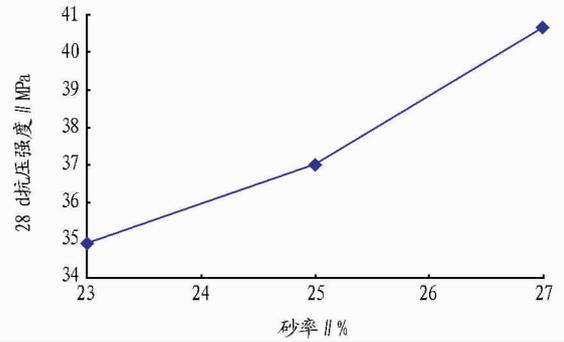


图2 水灰比为 0.45 时抗压强度与砂率的关系曲线

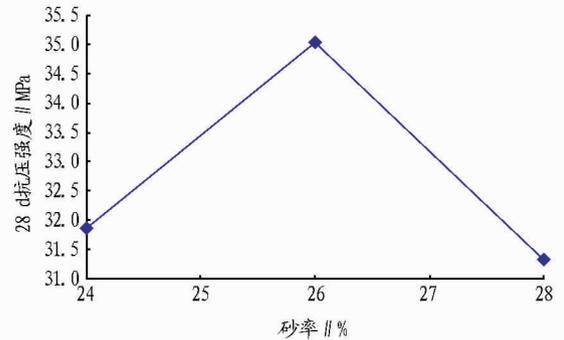


图3 水灰比为 0.50 时抗压强度与砂率的关系曲线

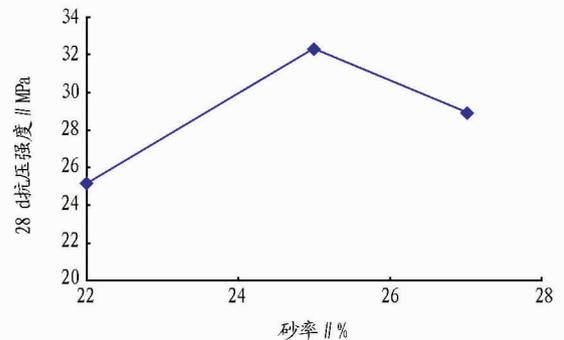
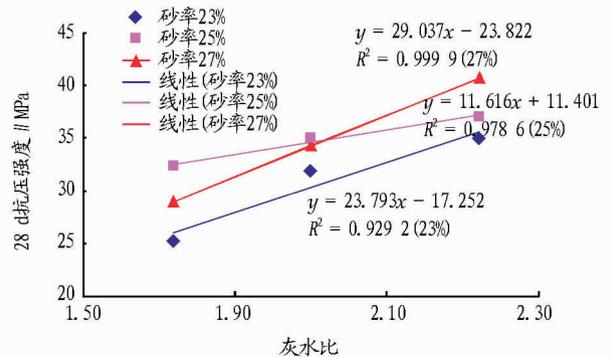


图4 水灰比为 0.55 时抗压强度与砂率的关系曲线



水灰比的增大而变小。上述原因笔者认为造成强度变化不明显的主要原因。

#### 4 结论

(1) 通过标准筛分试验获得辽河特细砂分布情况,该地区特细砂颗粒基本上均小于 0.6 mm,粒度过细,且每一粒径范围内颗粒含量差距很大,0.075 ~ 0.18 mm 及 0.25 ~ 0.45

mm 粒径区间颗粒分布集中,特细砂级配表现不良。

(2)利用原有的配合比设计公式试配混凝土试块,再根据实际需要调整其掺入量,找出了在细小范围内调整水灰比但抗压强度变化不明显的原因,为灰水比与强度关系的验证提供一个良好的参考。

(3)以辽河特细砂为细骨料进行了特细砂混凝土试验研究表明,随着水灰比的提高,该特细砂混凝土强度变化并不明显;砂率与混凝土强度关系呈不规则变化,但当砂率取到 27% 左右,相应特细砂混凝土强度会出现峰值,因此为了配制出强度较高的特细砂混凝土,需要通过进一步试验以确定一个较为稳定的砂率变化区间。此外,在水灰比、砂率一定的情况下,特细砂混凝土拌和物流动性较普通中砂混凝土低,强度也低于中砂混凝土,但其差距不大,因此,通过配合比调整及试验可配制出满足工作性能及强度需求的特细砂

混凝土,从而使辽河特细砂资源得到充分而有效的利用,为当地建设与经济发展助力。

### 参考文献

- [1] 徐国祥. 特细砂在混凝土中的应用研究[J]. 山西建筑, 2012(9): 123 - 124.
- [2] 曲云霞. 三低一超法配置特细砂混凝土的应用[J]. 油气地面工程, 2009, 28(6): 79.
- [3] 赵俊梅. 双掺磨细矿渣粉和粉煤灰大流动性混凝土配合比的多元线性回归分析[J]. 混凝土, 2007(5): 12.
- [4] 宓永宁, 张颖, 张树伟, 等. 辽河特细砂分形特征及特细砂混凝土性能研究[J]. 混凝土, 2012(10): 51 - 54.
- [5] 宓永宁, 孙荣华, 张玉清, 等. 特细砂配制混凝土的试验研究[J]. 混凝土, 2011(12): 56 - 58.
- [6] 江育. 特细砂与中砂混凝土配合比比较设计及工程应用[J]. 施工技术, 2008(6): 45 - 48.
- [7] 李光瑞. 特细砂混凝土的力学性能研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2007.
- [8] 姚汝方. 特细砂水工混凝土配合比试验研究[J]. 人民长江, 2008(9): 84 - 85.

(上接第 12483 页)

6 档, 机组前进速度: 4.1 km/h (拖拉机速度表显示); 前茬作物为玉米; 耕深为 18 cm, 考察旋耕与浅松旋耕的动力消耗的对比<sup>[4]</sup>。所得数据通过的测试系统软件得到, 所得数据通过

CYB-809A 拖拉机及农具性能综合测试系统取平均值。

### 3 结果与分析

试验结果见表 3, 综合对比见图 2。

表 3 试验结果

行程 编号	拖拉机输出功率				拖拉机 消耗总功 率/kW	总功率 平均值 kW	机组前 进速度 m/s	动力输出 轴转速 r/min	油耗 L/h	油耗平均 值//L/h	扭矩平均 值//L/h	
	旋转功率		牵引功率									
	扭矩 Nm	输出轴功 率//kW	牵引力 kN	牵引功 率//kW								
浅松和 旋耕系统	1	425.75	44.13	23.75	25.53	69.66	65.440	4.1	1000	15.95	14.855	406.855
浅松和 旋耕系统	2	387.96	40.66	19.66	20.56	61.22	65.675			13.76	14.405	547.010
浅松和 旋耕系统	3	564.26	59.58	8.17	9.41	68.98	65.675			14.45	14.405	547.010
浅松和 旋耕系统	4	529.76	55.31	6.26	7.06	62.37				14.36		

由表 3 可知, 浅松及旋耕组合作业(1, 2 行程)总功率平均值为 65.44 kW, 单独旋耕作业(3, 4 行程)总功率平均值为 65.675 kW; 油耗在浅松及旋耕组合作业(1, 2 行程)下平均值为 14.855 L, 在单一旋耕作业下平均值为 14.405 L。

根据对比结果可知, 油耗降低 1.8%, 拖拉机消耗总功率增加 0.4%, 可以看出旋耕与浅松旋耕的动力消耗相差不大。这主要是由于土壤表面浅松对拖拉机输出功率和油耗影响较小, 只有在深松条件下才能对拖拉机输出功率和油耗有较大影响。

### 4 结论与建议

比对了在浅松和旋耕组合下与单一旋耕作业下的动力消耗, 结果表明两者动力消耗差异很小。为进一步指导整机结构设计, 建议探索深松与旋耕组合作业对拖拉机动力消耗的影响。

### 参考文献

- [1] 李汝莘, 林成厚, 高煊文, 等. 小四轮拖拉机土壤压实的研究[J]. 农业机械学报, 2002, 33(1): 126 - 129.
- [2] 申屠留芳, 邵鹏. 正反旋耕灭茬机刀片的功耗分析[J]. 农机化研究, 2007(11): 87 - 89.
- [3] 张兴义, 隋跃宇. 农田黑土机械压实及其对作物产量的影响[J]. 农机化研究, 2002(4): 64 - 67.
- [4] 高凤玲, 赵伟, 张文春, 等. 旋耕深松联合作业的功率消耗研究[J]. 拖拉机与农用运输车, 2007, 34(4): 17 - 21.

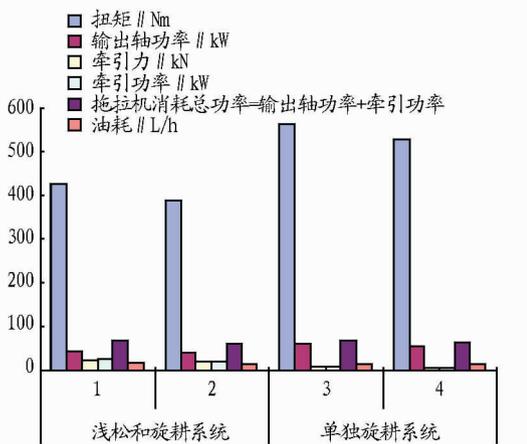


图 1 数据分析对比